

Resumen

España es un país que gracias a su situación geográfica dispone de grandes recursos naturales para la generación de energías renovables. Entre estos recursos se encuentra el Sol que es una fuente de radiaciones de las que se puede extraer muchas aplicaciones. El quid de la cuestión se encuentra en que, siendo el Sol una fuente inagotable de energía, no se saca todo el provecho que se podría.

Afortunadamente, la conciencia medio ambiental es un aspecto que cada día afecta más a las personas por lo que en este estudio se va a procurar impulsar el uso de energías alternativas mostrando la relativa sencillez de un instalación de generación de agua caliente sanitaria mediante el uso de captadores solares, y los grandes beneficios que ello aporta.

En un principio se va a realizar una explicación de los principales aspectos teóricos que envuelven a la temática del estudio para que una persona que no disponga de los conocimientos necesarios pueda entender el fin del trabajo y sus objetivos. Dentro de estos primeros apartados más teóricos también se procederá a describir los elementos más importantes que conformarán la instalación además de la normativa que los regula y las exigencias que ésta establece.

A continuación, el estudio se centrará un poco más en aspectos numéricos gracias a los cálculos del dimensionamiento de la instalación y del cumplimiento de las exigencias normativas. También se incluirá el Pliego de Condiciones y el mantenimiento posterior del sistema.

Finalmente, el estudio realizará un balance sobre los principales motores que impulsan este tipo de instalaciones. Por una parte se estudiará la viabilidad económica ya que un resultado positivo tiene un gran peso a la hora de tomar decisiones sobre la puesta en marcha de proyectos. Por otra parte, se estudiarán los beneficios ambientales que al fin y al cabo son el principal objetivo de este proyecto.

Índice

Resumen.....	1
1. Glosario	5
2. Prefacio	6
2.1. Origen del proyecto y motivación	6
2.2. Requerimientos previos	6
3. Introducción	7
3.1. Objetivos del proyecto	7
3.2. Alcance del proyecto.....	7
3.3. Antecedentes y punto de partida	7
4. Conceptos teóricos previos	9
4.1. Energía solar	9
4.1.1. Energía solar térmica.....	9
4.2. Inclinação y orientación al sol	10
5. Elementos generales en una instalación solar térmica para el suministro de ACS	11
5.1. Sistema de captación	12
5.1.1. Captador solar plano	13
5.1.2. Efecto invernadero de la radiación solar	14
5.2. Sistema de intercambio.....	15
5.3. Sistema de acumulación.....	16
5.4. Sistema hidráulico	16
5.5. Sistema de energía auxiliar	17
5.6. Sistema de regulación y control	17
6. Caracterización y cuantificación de las exigencias del Código Técnico para la Edificación	18
6.1. Ámbito de aplicación <i>DB HE 4</i>	18
6.2. Caracterización de la exigencia	19
6.3. Cuantificación de la exigencia	19
6.3.1. Contribución solar mínima	19
6.3.2. Protección contra sobrecalentamientos	20
6.3.3. Pérdidas por orientación, inclinación y sombras	22
6.3.4. Sistemas de medida de energía suministrada.....	22
6.3.5. Sistemas de acumulación solar y conexión de sistema de generación auxiliar ..	23
7. Cálculos de las exigencias y dimensionado de la instalación	23
7.1. Cálculo de la contribución solar mínima	23

7.1.1.	Calculo de la demanda	23
7.1.2.	Zona climática	25
7.2.	Cálculo de la demanda energética	26
7.3.	Radiación solar incidente sobre una superficie	27
7.4.	Pérdidas por orientación, inclinación y sombras	28
7.4.1.	Pérdidas por orientación e inclinación.....	29
7.4.2.	Pérdidas por sombras.....	30
7.5.	Dimensionamiento del sistema de captación	32
7.5.1.	El método <i>f-Chart</i>	32
7.5.2.	Cálculos del método f-Chart.....	33
7.5.3.	Distribución y conexión de los captadores solares	39
7.5.4.	Estructura de soporte.....	40
7.5.5.	Fluido caloportador	41
7.6.	Dimensionamiento del sistema de intercambio y del sistema de acumulación.....	42
7.6.1.	Elección del depósito de interacumulación	45
7.7.	Sistema hidráulico	48
7.7.1.	Dimensionamiento de las tuberías.....	48
7.7.2.	Dimensionamiento de la bomba hidráulica	50
7.8.	Dimensionamiento del sistema de regulación y control.....	56
7.9.	Sistema auxiliar	57
7.10.	Otros elementos y conceptos	58
7.10.1.	Vaso de expansión.....	58
7.10.2.	Válvulas	59
7.10.3.	Aislamiento térmico	60
7.10.4.	Legionella	61
7.11.	Resumen de la instalación.....	61
8.	Pliego de condiciones.....	62
8.1.	Sistema de captación	63
8.2.	Fluido de trabajo	64
8.3.	Sistema acumulador y sistema de intercambio	64
8.4.	Sistema hidráulico	66
8.5.	Sistema de regulación y control	68
9.	Mantenimiento de la instalación	68
9.1.	Plan de vigilancia	69

9.2.	Plan de mantenimiento.....	69
10.	Viabilidad económica	72
10.1.	Ayudas y subvenciones	72
10.2.	Estudio económico	75
10.2.1.	Composición de los costes de la inversión inicial.....	76
10.2.2.	Ahorro energético anual	76
10.2.3.	Valor Actual Neto (VAN).....	77
10.2.4.	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	78
10.2.5.	Plazo de recuperación (<i>Pay-Back</i>).....	79
10.2.6.	Resumen.....	79
11.	Estudio del Impacto Ambiental	79
11.1.	Introducción	79
11.2.	Responsabilidad ambiental	80
11.3.	Cuantificación del Impacto Ambiental	82
12.	Conclusiones.....	84
	Agradecimientos	86

1. Glosario

ACS	Agua Caliente Sanitaria
AEMET	Agencia Estatal Meteorología
CTE	Código Técnico de la Edificación
DB	Documento Básico
HE	Ahorro Energía
HR	Protección frente al Ruido
HS	Salubridad
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía
ITE	Instrucciones Técnicas Complementarias
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
UNE	Una Norma Española

2. Prefacio

2.1. Origen del proyecto y motivación

A la hora de establecer la temática del proyecto, se priorizó la opción de tratar un tema candente en la actualidad que estuviera especialmente relacionado con el ámbito ingenieril. Dentro del abanico de posibilidades del que se partía, se optó por buscar aquello que pudiera suponer una motivación personal ya que de esta manera, aparte de amenizar el trabajo y el esfuerzo, se llegaría a potenciar de la mejor manera el contenido y las conclusiones del proyecto.

Tras barajar diversas opciones, aquellas relacionadas con el medio ambiente fueron las que más cumplían con las expectativas establecidas inicialmente. Es más que sabido que cada día aumenta el uso de energías renovables y además se incrementan las instalaciones a pequeña escala, es decir, en pequeños edificios y viviendas. Eligiendo una instalación de estas características se aportaba al proyecto la proximidad que se buscaba ya que en un futuro se le podía sacar provecho propio. Por estas razones, finalmente se eligió realizar el estudio sobre la generación de agua caliente sanitaria mediante energía solar con el fin de aprovisionar las necesidades de una vivienda unifamiliar.

2.2. Requerimientos previos

Antes de empezar a desarrollar el proyecto, es necesario tener los conocimientos básicos que envuelven la temática de éste. Dominar aspectos como la transferencia de calor, el funcionamiento de la energía térmica o el cálculo de potencias será de gran ayuda para la buena congruencia de los resultados obtenidos.

Por otra parte, al querer llevar a cabo la instalación en una vivienda unifamiliar, es de gran importancia poder tener al alcance la información necesaria de dicha vivienda. La información de la que se debe disponer puede estar relacionada con los planos arquitectónicos, con la instalación actual de la caldera, con el consumo de agua, con la potencia contratada, etc.

3. Introducción

3.1. Objetivos del proyecto

Los objetivos de este trabajo se han basado en realizar un estudio exhaustivo sobre todo aquello que envuelva a la instalación de unos captadores solares con el fin de calentar agua minimizando el uso de una energía que no sea la térmica.

Lo que se pretende es ser capaz de dominar este tipo de instalaciones con el fin de poder describir cómo se realizaría una, es decir, realizar el trabajo que llevaría a cabo un ingeniero en el mundo laboral, al que le se encargara esta tarea. Una vez se elija la mejor opción para cumplir con el fin del proyecto, se establecerán las bases generales para la implantación del sistema describiendo aspectos como el mantenimiento de la instalación, la viabilidad económica o el impacto ambiental.

3.2. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto estará limitado al estudio de la instalación de los captadores solares. En un principio no llegará a abarcar ningún aspecto relacionado con la puesta en práctica del mismo, simplemente se describirá cómo sería ésta. Dentro de este alcance aparecerán los siguientes puntos:

- Descripción sobre los principales conceptos teóricos necesarios para dar más visibilidad sobre la temática del proyecto.
- Descripción y estudio detallado de los elementos de la instalación. Se realizará una descripción de los principales elementos del sistema que se desea instalar pero no se llegará a detallar el acoplamiento con el sistema actual ni con los puntos de consumo de la vivienda.
- Menciones continuas al documento legal que se encargue de regular este tipo de instalaciones.
- Estudio del impacto ambiental del proyecto.
- Estudio de la viabilidad económica, de la inversión y de la amortización.

3.3. Antecedentes y punto de partida

Como ya se ha comentado antes, antes de empezar a desarrollar el proyecto, hay que partir de una situación inicial que a continuación se describe:

- Situación geográfica:

La edificación se encuentra en una parcela situada en la Finca Damunt Sa Vinya den Ribes en el pueblo de Sant Agustí d'es Vedrà (término municipal de Sant Josep de sa Talaia, Ibiza). Las coordenadas exactas son $38^{\circ} 95' 98''$ N de latitud y $1^{\circ} 28' 87''$ E de longitud.



Figura 1. Ubicación de la vivienda

- Descripción general de la vivienda:

La parcela tiene una superficie de 4552 m^2 . El terreno es prácticamente llano, sin ningún elemento relevante y con buenas vistas en dirección norte a la bahía de San Antonio. La vivienda en cuestión es una casa unifamiliar e independiente con una superficie total construida de 200 m^2 divididos en dos plantas y puede albergar a un mínimo de cero personas y a un máximo de aproximadamente ocho (tomando como referencia el número de camas disponibles).

- Instalación actual de agua:

La instalación de agua se inicia con la canalización del agua desde la red pública hacia el interior de la vivienda de manera que se alimentan los diferentes puntos de consumo existentes. El agua caliente sanitaria se consigue mediante una caldera de 25.000 Kcal/h de potencia, que a su vez da calefacción de la vivienda citada.

Cabe destacar que, una vez que la instalación de los captadores solares funcione, el sistema actual pasará a ser el auxiliar y asegurará la disponibilidad de agua caliente en

todo momento. Hay que tener en cuenta que durante los meses de invierno o durante los días más nublados de los meses de verano, la energía solar puede no ser suficiente.

- **Instalación eléctrica:**

La instalación interior y exterior está compuesta por un conjunto de circuitos constituido por un conductor fase, uno neutro y uno de protección. Esta instalación prevé una potencia máxima de 8000 W.

4. Conceptos teóricos previos

4.1. Energía solar

La energía solar es un tipo de energía renovable que utiliza como fuente la radiación solar para diferentes fines. Este tipo de energía se ayuda de la energía radiante producida por el sol en forma de calor o de luz. En el primer caso, el calor se acumula con captadores solares para generar energía térmica y en el segundo caso, la luz incide sobre unas células fotovoltaicas para generar energía eléctrica. Este proyecto se va a basar en la energía del primer tipo, es decir, la térmica.

4.1.1. Energía solar térmica

La energía solar térmica es la que se encarga de utilizar la radiación solar en forma de calor. Mediante diferentes dispositivos artificiales, se concentran los rayos solares y se transfiere su energía a los fluidos que interesa. Las aplicaciones de este tipo de energía son las siguientes:

- Producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria).
- Climatización de piscinas.
- Generación de frío (aunque suene extraño, se pueden enfriar ambientes con aparatos que consuman la energía proporcionada por módulos fotovoltaicos o con la refrigeración por absorción de dos fluidos accionados por agua calentada con energía solar térmica).

En función de la temperatura que se alcance, la energía solar térmica se puede clasificar en tres tipos:

- De baja temperatura ($T < 100^{\circ}\text{C}$). Utiliza captadores solares planos fijos. Son los sistemas más comunes y se utilizan para la obtención de agua caliente de uso sanitario (duchas, cocina, etc.), calefacción o climatización de piscinas.

- De media temperatura ($100^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$). Está formada por un campo de colectores cilíndricos parabólicos que constan de un espejo que concentra la radiación solar en un tubo absorbente. Son comunes en procesos industriales, para generación de fluidos térmicos, desalinización de agua de mar o refrigeración mediante energía solar.
- De alta temperatura ($T > 400^{\circ}\text{C}$). Se caracteriza por funcionar mediante una central solar de torre formada por campos de heliostatos o espejos que concentran la radiación solar sobre un receptor instalado sobre una torre central que actúa como un intercambiador solar. Con este tipo de energía se pueden conseguir temperaturas de hasta 1000°C . Se utilizan para conseguir la ebullición de un fluido, alcanzando elevadas presiones, de manera que se lleguen a mover unas turbinas que generen energía eléctrica.

4.2. Inclinación y orientación al sol

Para poder aprovechar al máximo la radiación solar, es muy importante estudiar cuál será el recorrido de la Tierra alrededor del Sol a lo largo del día y del año. Los dos factores a tener en cuenta en este punto son la inclinación y la orientación de los captadores solares de manera que se coloquen lo más perpendicularmente posible a los rayos del sol. Estos dos factores dependen tanto del hemisferio como de la latitud a la que se encuentra la vivienda.

Por norma general, las instalaciones situadas en el hemisferio norte orientan las placas hacia el sur debido al ángulo de inclinación que posee la Tierra respecto del Sol. En caso de situarse en el hemisferio sur pasa lo contrario. En relación a la inclinación de las placas, ésta deberá de ser mayor en cuanto más lejos se encuentre la instalación del Ecuador, debiendo quedar prácticamente horizontal (paralela al suelo) si se encuentra sobre éste.

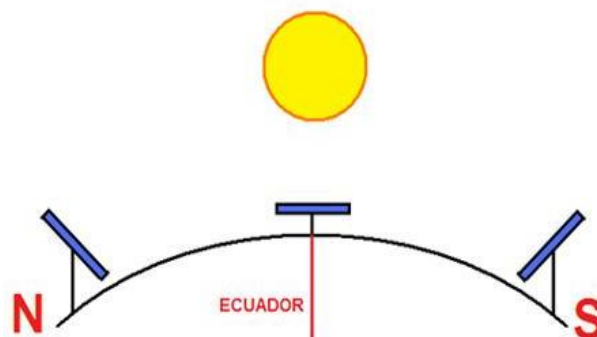


Figura 2. Imagen representativa de la orientación de los captadores en función del hemisferio en el que se encuentren.

		Hemisferio	
		Norte	Sur
Ecuador	Cerca	Sur y paralela	Norte y paralela
	Lejos	Sur e inclinada	Norte e inclinada

Tabla 1. Condiciones favorables de orientación e inclinación en función del hemisferio y de la cercanía al ecuador respectivamente

Más adelante se realizarán los cálculos pertinentes para conocer la inclinación y la orientación que deberán tener las placas solares para optimizar su funcionamiento.

5. Elementos generales en una instalación solar térmica para el suministro de ACS

En este apartado se realizará una explicación teórica de cuáles son los principales componentes que conforman una instalación típica encargada de suministrar de agua caliente sanitaria en una edificación. Más adelante se detallarán los elementos concretos que conformarán el caso concreto de este proyecto.

Básicamente, este tipo de instalaciones consta de seis sistemas: sistema de captación, sistema de acumulación, sistema de intercambio, sistema hidráulico, sistema de energía auxiliar y sistema de regulación y control.

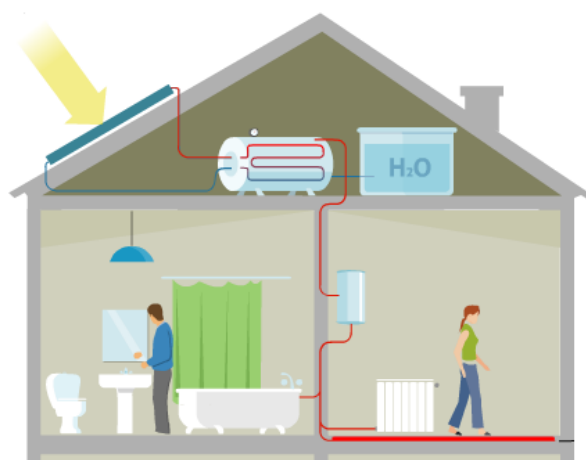


Figura 3. Representación general de una instalación de captadores solares para la generación de ACS en una vivienda. Fuente: Infografías Eroski

El conjunto de la instalación se puede incluir dentro de dos circuitos, el circuito primario y el circuito secundario:

- El circuito primario o circuito hidráulico es el encargado de captar la energía solar, transformarla en calor y trasladar esta energía calorífica hasta un lugar de almacenamiento.
- El circuito secundario es un circuito que toma el calor almacenado en el acumulador y lo conduce hasta los puntos de uso.

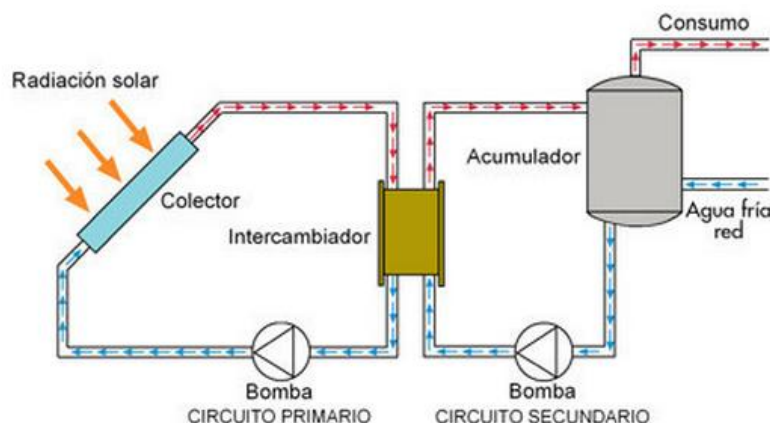


Figura 4. Esquema general del circuito interno de la instalación

5.1. Sistema de captación

El sistema de captación está formado por los colectores solares que también se conocen por el nombre de paneles, módulos, captadores o placas solares. Estos elementos acostumbran a situarse en los tejados de los edificios ya que allí es donde se absorbe más radiación solar. Su función principal es la de recoger la energía solar en forma de radiación, transformarla en calor y transmitirlo al fluido caloportador que circula a través de él.

Los captadores solares de baja temperatura se pueden clasificar, según su cubierta, en vidriados y no vidriados.

- Captadores vidriados: se caracterizan porque presentan una cubierta, generalmente de cristal, que basándose en el efecto invernadero consigue maximizar la captación de la energía solar reduciendo a la vez el número de pérdidas.
- Captadores no vidriados, sin cubierta o de polipropileno: se caracterizan porque no están aislados ni presentan una cubierta que proteja a dicho captador. Tienen un coste reducido pero sus prestaciones energéticas son limitadas. Pueden llegar a producir un

aumento de temperatura de unos 30°C de manera que su aplicación se reduce a la climatización de piscinas, especialmente exteriores, ya que son las que no se rigen por ninguna normativa en cuanto al aporte solar.

Tras esta breve explicación, cabe destacar que, en este proyecto, interesará trabajar con colectores vidriados. Dentro de este tipo de captadores, lo más comunes en el mercado son los captadores planos, los tubos de vacío y los CPC (Colector Parabólico Concéntrico).

De los dos últimos hay que decir que, a *grosso modo*, ambos están formados por una serie de tubos cilíndricos de vidrio por donde circula el fluido caloportador que, gracias al vacío al que está sometido, se disminuyen las pérdidas por convección llegando a alcanzar mejores eficiencias a mayores temperaturas. El hecho de que puedan llegar a calentar agua a una temperatura de entre 40°C y 130°C además de que su instalación es más cara, más difícil de manipular y con menos años de vida, hace que estos dos tipos de colectores solares no sean los más convenientes para este proyecto.

De esta manera, los captadores solares son los que resultan más idóneos ya que alcanzan las temperaturas necesarias para los usos domésticos, presentan un coste de instalación y mantenimiento menor al de sus compañeros y los fabricantes garantizan su correcto funcionamiento durante una media de entre 10 y 20 años.

5.1.1. Captador solar plano

Los captadores solares planos presentan los siguientes elementos:

- Cubierta transparente, normalmente de vidrio, que se encarga de provocar el efecto invernadero y reducir las pérdidas por convección.
- Placa absorbedora donde se produce la conversión de la radiación solar en energía térmica. Acostumbra a ser una superficie plana metálica adherida a un circuito hidráulico a través del cual circula el fluido caloportador (mezcla de anticongelante y agua) al que se le transfiere el calor absorbido de la radiación solar.
- Aislante para evitar las pérdidas del calor al exterior en las zonas del captador que no necesitan ser transparentes a la radiación solar, es decir, los laterales y el fondo.
- Conductos de circulación que son recorridos por el fluido caloportador que transporta la energía térmica acumulada.

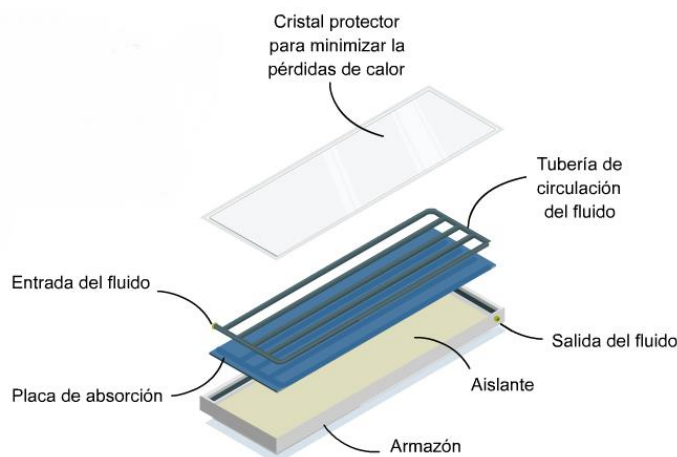


Figura 5. Partes que conforman un captador solar típico.

Fuente: Infografías Eroski

5.1.2. Efecto invernadero de la radiación solar

Por último, para acabar de entender el proceso que sucede en el interior de los captadores solares, se va a realizar una breve explicación del fenómeno físico que rige la conversión de la radiación solar en energía térmica, es decir, el efecto invernadero.

Se podría decir que la cubierta transparente actúa como la atmósfera en la Tierra. Cuando la radiación electromagnética incide sobre un cuerpo puede ser absorbida, puede ser reflejada o puede atravesar el cuerpo.

Para que las ondas electromagnéticas puedan atravesar el cuerpo, éste debe de ser transparente. Sin embargo, se puede dar el caso de que un cuerpo sea transparente a una determinada longitud de onda pero opaco para las demás. Este fenómeno es el que se produce con el vidrio, que se muestra transparente a las longitudes de onda corta (entre 0,3 y 3 μm) como las de la radiación solar, pero se muestra opaco a las longitudes de onda larga. Pero, una vez las ondas de la radiación solar han atravesado la superficie de vidrio, ¿cómo es que no vuelven a salir si su comportamiento sigue siendo transparente?

Lo que pasa a continuación es que cuando las ondas de la radiación solar inciden sobre los materiales que se encuentran al otro lado del vidrio, es decir, cuando inciden sobre la placa metálica del colector, hacen que ésta se caliente y genere ondas de larga longitud (de unos 4,5 μm) para las que el vidrio se vuelve opaco. De esta manera, las ondas quedan atrapadas en el colector solar y provocan así un aumento de la temperatura en el interior de éste.

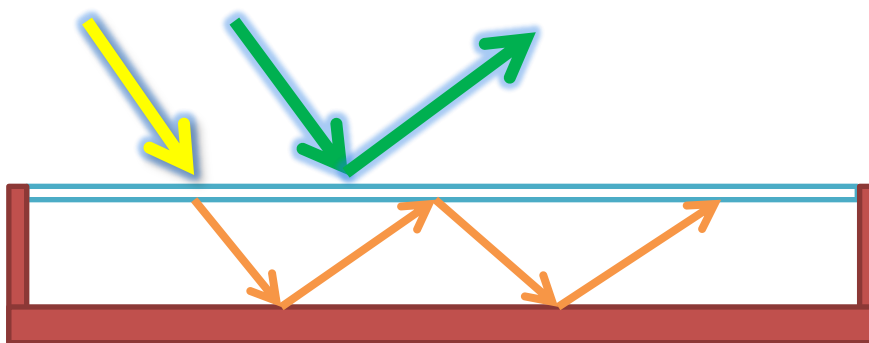


Figura 6. Efecto invernadero en colector solar plano. La flecha amarilla es de onda corta por lo que atraviesa la cubierta. Las flechas verdes son de onda larga por lo que no la atraviesan. Las flechas naranjas representan aquellas radiaciones cortas que una vez inciden en la placa metálica, se vuelven de onda larga y no consiguen volver a salir

5.2. Sistema de intercambio

El sistema de intercambio es de los más importantes de todo el conjunto. Como la temperatura de entrada en el intercambiador es variable, el dimensionado de este dispositivo dependerá de la potencia térmica que los captadores sean capaces de transmitir.

Lo que se produce básicamente en este sistema es el intercambio de calor entre el fluido del circuito primario, el fluido caloportador, y el fluido del circuito secundario, el fluido de trabajo. El dispositivo en el que se produce el intercambio, como bien dice su nombre, es en el intercambiador de calor. Este se produce sin que se los fluidos se mezclen.

Dentro de los diferentes parámetros que se tienen en cuenta a la hora de realizar el dimensionamiento de este sistema, el rendimiento y la eficacia se encuentran entre los más importantes. El rendimiento se entiende como la relación entre la energía de salida y de entrada del intercambiador mientras que la eficacia tiene en cuenta la relación entre la potencia calorífica real intercambiada con la máxima teórica que se podría intercambiarse.

Aunque en el mercado existan diferentes modelos de intercambiadores, todos se caracterizan por tener dos tipos de superficies de contacto o tuberías, unas por las que pasa el fluido caloportador y otras por las que pasa el fluido de trabajo o agua.

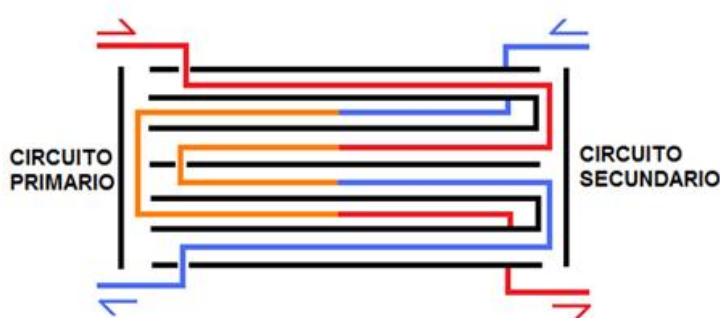


Figura 7. Intercambio de calor entre el fluido del circuito primaria (fluido caloportador) y el fluido del circuito secundario (agua)

5.3. Sistema de acumulación

El sistema de acumulación lo constituyen uno o varios depósitos que se encargan de almacenar el agua caliente para hacer frente al consumo de ACS en el momento en el que sea necesario ya que éste no tiene por qué ser el momento en el que se produce.

Los depósitos se encargan de estratificar el agua en su interior, es decir, han de formarse capas de agua de manera que la más fría esté en el fondo del depósito mientras que la capa de agua más caliente debe de estar en la parte alta. Esta estratificación es muy importante por dos motivos. Por una parte, se necesita que el agua con menor temperatura sea la que intervenga en el intercambio de calor para que los captadores solares maximicen su rendimiento y capten más energía. Por otra parte, se precisa que la temperatura más alta se encuentre en la parte superior del depósito ya que es en esta zona es de donde se extrae el agua que cubrirá la demanda.

5.4. Sistema hidráulico

Es común en las instalaciones solares térmicas la existencia de dos circuitos hidráulicos. El primero, o circuito primario, es por donde circula el fluido caloportador desde el sistema de colección al intercambiador de calor. El segundo, o circuito secundario, es por el que circula el agua desde el intercambiador de calor al sistema de acumulación.

Los principales elementos que conforman estos circuitos son los siguientes:

- Bombas o electrocircuitadores. Se encargan de aportar a los fluidos la energía necesaria en forma de presión para propulsarlos desde su origen hasta su destino.
- Válvulas de seguridad. Es un dispositivo que protege al sistema cuando la presión supera unos límites establecidos.
- Vasos de expansión. Estos dispositivos se encargan de absorber las dilataciones del agua en las instalaciones de ACS. Cuando crece la presión en la instalación debido a la dilatación del fluido caloportador por el aumento de temperatura, el fluido sobrante entra en el vaso.
- Elementos de purga. Se encargan de extraer el aire que se pueda llegar a acumular dentro de las columnas de distribución.
- Tuberías y aislamientos. Todos los componentes de la instalación se encontrarán unidos mediante las tuberías que realizarán el transporte del fluido. Tanto las tuberías del circuito primario por donde circule el fluido caloportador como las del circuito secundario por donde circule el agua, tendrán que estar hechas del material homologado para sus respectivas funciones. Además, no hay que olvidar que la mayoría de los elementos de la instalación mantienen una temperatura superior a la del ambiente por lo que, para evitar las pérdidas que se puedan causar por conducción, convección o radiación, las tuberías deberán de estar aisladas con el fin de maximizar el rendimiento del sistema.

5.5. Sistema de energía auxiliar

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica de ACS, la instalación de energía solar debe disponer de un sistema de energía auxiliar.

Como en este proyecto la vivienda con la que se trabaja ya consta de un sistema de generación de ACS y calefacción formado por una caldera de combustión de gasóleo.

5.6. Sistema de regulación y control

La función del sistema de regulación y control asegurará el correcto funcionamiento de la instalación, procurando obtener un buen provecho de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. Se encargará de evitar que se produzcan sobrecalentamientos o heladas que dañen los dispositivos de la instalación y además, ordenará la puesta en marcha y la parada de las bombas, así como la apertura y el cierre de las válvulas.

Todo esto lo conseguirá mediante el uso de sensores que vayan midiendo la temperatura en los principales puntos del conjunto.

Las temperaturas que gobernarán el sistema serán la temperatura del fluido caloportador a la salida del captador solar (T_1) y la temperatura del agua en la parte baja del depósito acumulador (T_2).

6. Caracterización y cuantificación de las exigencias del Código Técnico para la Edificación

Las exigencias que deben cumplir este tipo de proyectos vienen establecidas por el *Código Técnico para la Edificación (CTE)*. Se trata de un documento que recopila el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde el 2006. Sus exigencias intervienen en las fases de proyecto, construcción, mantenimiento y conservación.

El *CTE* se compone de un conjunto de normativas, cada una de las cuales se denomina *Documento Básico*. El tipo de *Documento Básico* que interesará en este proyecto es el *Documento Básico de Habitabilidad*, más concretamente el de *Ahorro de Energía (DB HE)* que recoge la normativa que se debe de aplicar cuando se instala un sistema que funciona con energía solar. La sección 4 del *DB HE* es la correspondiente a los sistemas que se encargan de generar ACS y establece el objetivo, las exigencias, los métodos de verificación y las soluciones aceptadas.

6.1. Ámbito de aplicación DB HE 4

El caso concreto de estudio de este proyecto estaría incluido en el apartado a) del ámbito de aplicación ya que se trata de un edificio existente al que se le va a reformar de manera íntegra la instalación térmica y existe una demanda de agua caliente sanitaria superior a 50 l/d.

Por reforma íntegra de la instalación térmica se entiende aquella que incluye a los equipos de generación y demás elementos ligados a la producción y suministro de ACS, incluidos los circuitos de distribución.

6.2. Caracterización de la exigencia

Tratándose de una vivienda como la descrita en el apartado anterior, la exigencia que se le aplica es la del punto 1 del apartado 2.1 del *DB HE 4*. Esta exigencia establece la contribución mínima de energía solar térmica que deberá de suministrar la instalación. Esta contribución dependerá de la zona climática y de la demanda de ACS.

Cabe destacar que el *DB HE 4* incluye exigencias y condiciones tanto para la generación de ACS, para viviendas unifamiliares y para edificios de viviendas, como para la climatización de piscinas. Sin embargo, en este proyecto sólo se tendrán en cuenta las primeras, para viviendas unifamiliares, ya que son las que interesan.

6.3. Cuantificación de la exigencia

En este apartado se van a detallar de manera más precisa y numérica las exigencias que se deberán de cumplir.

6.3.1. Contribución solar mínima

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual para ACS obtenidos a partir de los valores mensuales.

El CTE proporciona una tabla de referencia (Tabla 2) a partir de la cual, para cada zona climática y diferentes niveles de demanda de ACS a una temperatura de referencia de 60 °C, se establece una contribución solar mínima anual exigida para cubrir con las necesidades de ACS.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Tabla 2. Contribución solar mínima en función de la demanda total de ACS a una temperatura de referencia de 60°C y de la zona climática. Fuente: CTE

En este punto se establecen otra serie de criterios a tener en cuenta a la hora de cumplir con la contribución mínima de energía solar:

- La contribución podrá sustituirse parcial o totalmente mediante una instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia instalación térmica del edificio; bien realizada en el propio edificio o bien a través de la conexión a una red de climatización urbana.
- Para poder realizar la sustitución se justificará documentalmente que las emisiones de dióxido de carbono y el consumo de energía primaria no renovable, debidos a la instalación alternativa y todos sus sistemas auxiliares para cubrir completamente la demanda de ACS, o la demanda total de ACS y calefacción si se considera necesario, son iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica y el sistema de referencia que se deberá considerar como auxiliar de apoyo para la demanda comparada.
- En los casos en los que el emplazamiento del edificio no cuente con suficiente acceso al sol por barreras externas al mismo, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente en rehabilitación de edificios o cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la aplicación de la normativa urbanística que imposibiliten de forma evidente la disposición de la superficie de captación necesaria en edificios de nueva planta o rehabilitaciones de edificios, o cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística, deberá sustituirse parcial o totalmente la contribución solar mínima de manera acorde con lo establecido en los puntos anteriores.

6.3.2. Protección contra sobrecalentamientos

En este tipo de instalaciones se debe de estudiar la posibilidad de que se genere más ACS de la que se llegue a consumir. Esto se debe a que, si se produjera el caso, la instalación se podría ver dañada siendo por lo tanto más oportuno producir menos cantidad de la necesaria.

En referencia a este aspecto, el *CTE* establece una serie de premisas que deben de cumplirse:

- El dimensionado de la instalación se realizará teniendo en cuenta que en ningún mes del año la energía producida por la instalación podrá superar el 110% de la demanda energética y en no más de tres meses el 100% y a estos efectos no se tomarán en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50% por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección.
- En el caso de que en algún mes del año la contribución solar pudiera sobrepasar el 100% de la demanda energética se adoptarán cualquiera de las siguientes medidas:
 - a. dotar a la instalación de la posibilidad de disipar dichos excedentes (a través de equipos específicos preferentemente pasivos o mediante la circulación nocturna del circuito primario);
 - b. tapado parcial del campo de captadores. En este caso el captador solar térmico está aislado del calentamiento producido por la radiación solar y a su vez evacua los posibles excedentes térmicos residuales a través del fluido del circuito primario (que seguirá atravesando el captador);
 - c. vaciado parcial del campo de captadores. Esta solución permite evitar el sobrecalentamiento, pero dada la pérdida de parte del fluido del circuito primario, debe ser repuesto por un fluido de características similares, debiendo incluirse este trabajo entre las labores del contrato de mantenimiento;
 - d. desvío de los excedentes energéticos a otras aplicaciones existentes;
 - e. sistemas de vaciado y llenado automático del campo de captadores.
- En cualquier caso, si existe la posibilidad de evaporación del fluido de transferencia de calor bajo condiciones de estancamiento, el dimensionado del vaso de expansión debe ser capaz de albergar el volumen del medio de transferencia de calor de todo el grupo de captadores completo incluyendo todas las tuberías de conexión de captadores más un 10%.
- Las instalaciones deben incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. En general, es muy recomendable la adopción de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga u otro dispositivo.

6.3.3. Pérdidas por orientación, inclinación y sombras

Las pérdidas se expresan como el porcentaje de la radiación solar que incidiría sobre la superficie de captación orientada al sur, a la inclinación óptima y sin sombras. Éstas deben de ser calculadas, según el CTE, para asegurar que el aporte energético siga cumpliendo con las exigencias.

Resumiendo un poco lo establecido en el CTE, las condiciones que se deben de cumplir son las siguientes:

- La orientación, la inclinación y las posibles sombras del sistema captador deberán de estudiarse de manera que las pérdidas sean inferiores a los límites establecidos en la *Tabla 3*. Este porcentaje permitido no supone una minoración de los requisitos de contribución solar mínima exigida.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
<i>Superposición de captadores</i>	20 %	15 %	30 %
<i>Integración arquitectónica de captadores</i>	40 %	20 %	50 %

Tabla 3. Porcentaje máximo de pérdidas permitido. Fuente: CTE

- Las pérdidas totales, es decir, la suma de las pérdidas por orientación e inclinación más las pérdidas por sombras, deberán de ser inferiores a los límites estipulados en la tabla anterior, respecto a los valores de energía obtenidos considerando la orientación e inclinación óptimas y sin sombra alguna.
- Se considerará como la orientación óptima el sur y la inclinación óptima, dependiendo del periodo de utilización, uno de los valores siguientes:
 - a) Demanda constante anual: la latitud geográfica
 - b) Demanda preferente en invierno: la latitud geográfica + 10 °
 - c) Demanda preferente en verano: la latitud geográfica - 10 °

6.3.4. Sistemas de medida de energía suministrada

- Las instalaciones solares, o instalaciones alternativas que las sustituyan, de más de 14 kW dispondrán de un sistema de medida de la energía suministrada con objeto de

poder verificar el cumplimiento del programa de gestión energética y las inspecciones periódicas de eficiencia energética.

- El diseño del sistema de contabilización de energía y de control debe permitir al usuario de la instalación comprobar de forma directa, visual e inequívoca el correcto funcionamiento de la instalación, de manera que esta pueda controlar diariamente la producción de la instalación.

6.3.5. Sistemas de acumulación solar y conexión de sistema de generación auxiliar

- El sistema de acumulación solar se debe dimensionar en función de la energía que aporta a lo largo del día, y no solo en función de la potencia del generador (captador solar), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda al no ser esta simultánea con la generación.
- Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Donde,

A= suma de las áreas de los captadores [m²];

V= volumen de la acumulación solar [litros].

- No se permite la conexión de un sistema de generación auxiliar en el acumulador solar. Para los equipos de instalaciones solares que vengan preparados de fábrica para albergar un sistema auxiliar eléctrico, se deberá anular esta posibilidad de forma permanente, mediante sellado irreversible u otro medio.

7. Cálculos de las exigencias y dimensionado de la instalación

7.1. Cálculo de la contribución solar mínima

7.1.1. Cálculo de la demanda

La demanda que se va a calcular en este apartado va a ser una demanda establecida mediante condiciones del CTE que se utilizará para determinar la fracción solar mínima a abastecer mediante la aplicación de la *Tabla 2* del apartado 6.3.1.

Esta demanda depende básicamente del tipo de vivienda. Por este motivo, el CTE proporciona una tabla clasificatoria donde establece el consumo diario por persona en función del tipo de edificación.

Para el caso de una vivienda particular, la demanda resulta ser de $28 \frac{\text{l}}{\text{día} \times \text{persona}}$. En el apartado 1.1 del anexo se adjunta la tabla al completo.

Criterio de demanda	Litros/día·unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona

Tabla 4. Fragmento de la tabla que detalla el consumo de ACS por persona dependiendo de la funcionalidad de la edificación. Fuente: CTE.

Como la demanda total dependerá del número total de personas que habiten la vivienda, el CTE establece también un mínimo a tener en cuenta en función del número de dormitorios cuando se trata de una residencia privada. En la *Tabla 5*, se puede observar que el número mínimo de personas que habrá que tener en cuenta será de 5 ya que la vivienda consta de 4 dormitorios.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla 5. Número mínimo de personas a considerar en función del número de dormitorios del que disponga la vivienda. Fuente: CTE

A partir de estos datos, se puede calcular que el consumo de agua a lo largo de un día será de un mínimo de 140 L/día.

$$Q_{\text{cons}} = 5 \text{ personas} \times 28 \frac{\text{litros}}{\text{día} \times \text{persona}} = 140 \text{ litros}$$

Cabe destacar que el cálculo de esta demanda se realiza para establecer la contribución solar mínima.

7.1.2. Zona climática

Esta característica se establece en función de la *Radiación Solar Global media diaria anual* sobre una superficie horizontal que se recoge para las capitales de provincia en el “*Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT*” publicado en el 2012 por la Agencia Estatal de Meteorología. La superficie en la que se encuentra la vivienda se encuentra en la Zona IV (en el apartado 1.3 del Anexo se puede encontrar esta misma información).



Figura 8. Mapa de las zonas climáticas españolas establecido por la Agencia Estatal de Meteorología. Fuente: CTE

Conociendo la zona climática, también se puede disponer de la radiación solar global que incidirá sobre ésta:

Zona climática	MJ/m ²	kWh/m ²
I	$H < 13,7$	$H < 3,8$
II	$13,7 \leq H < 15,1$	$3,8 \leq H < 4,2$
III	$15,1 \leq H < 16,6$	$4,2 \leq H < 4,6$
IV	$16,6 \leq H < 18,0$	$4,6 \leq H < 5,0$
V	$H \geq 18,0$	$H \geq 5,0$

Figura 9. Valores de la radiación solar global según la zona climática. Fuente: CTE

Con la información de la demanda y de la zona climática, se puede establecer la contribución mínima anual de ACS que deberá cumplir la instalación. A partir de la *Tabla 2* proporcionada por el CTE (disponible en el apartado 6.3.1), se establece que esta contribución tendrá que ser del 50%.

7.2. Cálculo de la demanda energética

La demanda energética en cada mes será diferente, dependiendo del número de días del mes y de la temperatura media del agua de la red de ese mes. Se calcula de la siguiente forma:

$$DE = Q_{día} \cdot N \cdot (T_{ACS} - T_{AF}) \cdot \rho \cdot C_e \cdot 1,16 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{termia}}$$

Donde:

DE = Demanda energética mensual (kW·h/mes)

$Q_{día}$ = Consumo diario de agua (l/día)

N = Días del mes (días/mes)

T_{ACS} = Temperatura de consumo del ACS, 60°C según el CTE (°C)

T_{AF} = Temperatura del agua de la red para ese mes, datos proporcionados por el CTE (°C)

ρ = 1000 kg/m³ (densidad del agua a 4°C)

C_e = 1·10⁻⁶ Mcal/g·°C (calor específico del agua)

$1,16 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{termia}}$ = Coeficiente para obtener el resultado en kW·h en lugar de en termias

Finalmente, si se aplica esta fórmula a todos y cada uno de los meses del año, se obtiene que la demanda energética al año es de 2.305.447,9 kcal/año, que es lo mismo que 263,1 kcal/h. Los detalles de estos cálculos se pueden encontrar en el apartado 1.4 del Anexo.

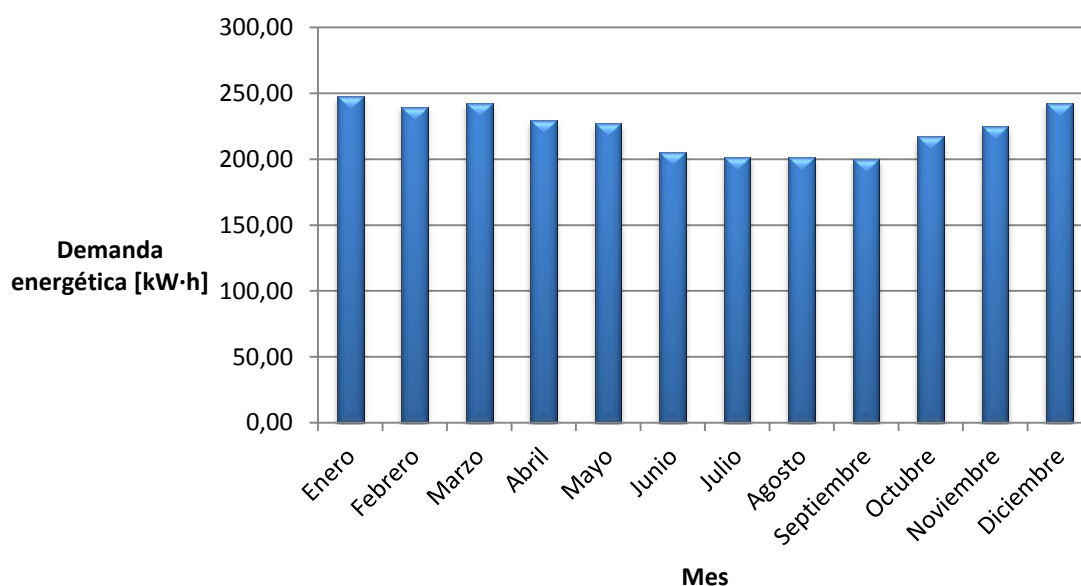


Gráfico 1. Evolución de la demanda energética a lo largo del año

7.3. Radiación solar incidente sobre una superficie

Para poder calcular en los próximos apartados el dimensionado de la instalación de captación solar, es necesario cuantificar la radiación solar que puede llegar a incidir sobre una superficie. La variable que cuantifica esta radiación es la conocida como irradiancia solar. Ésta describe la potencia incidente por unidad de superficie de toda radiación electromagnética.

Para la adquisición de estos datos se han consultado diversas fuentes entre las que cabe destacar el *Atlas de Radiación Solar* proporcionado por Aemet o la aplicación interactiva proporcionada por el *Joint Research Center* del *Institute for Energy and Transport* de la Comisión Europea. Se ha considerado la información proporcionada por ésta última fuente como más exacta ya que permitía acceder a los datos mediante la introducción de la latitud y la longitud del emplazamiento de la vivienda mientras que la primera fuente mencionada sólo proporcionaba los datos de las capitales de provincias.

Es importante destacar que la irradiancia depende no sólo de la radiación solar sino también de la superficie, más concretamente, de la inclinación de dicha superficie. Por este motivo, es momento de definir cuál será la inclinación de las futuras placas solares que conformarán la instalación.

Como ya se ha comentado en el apartado 4.2., tanto la inclinación como la orientación de las placas dependen de la situación en la que se encuentre la instalación.

En cuanto a la orientación, al encontrarse la vivienda en el hemisferio norte, ésta será en dirección al Sur.

Con respecto a la inclinación, cabe mencionar que, como ya también se ha dicho en el punto 6.3.3 según el CTE ésta suele coincidir con la latitud del emplazamiento de la instalación. Cuando se considera que en algún momento del año, el consumo se va a incrementar, si se trata de invierno, se decide sumar 10 grados al valor de la latitud, y si se trata de verano, se le restan 10 grados. En este caso en concreto, se va a considerar que la demanda se mantiene constante durante todo el año y, por lo tanto, la inclinación de los futuros captadores solares será de 40°.

De esta manera, la irradiancia solar media diaria por unidad de superficie (tanto para inclinación nula como para inclinación de 40°) detallada para cada mes del año es la siguiente:

	Irradiación 0° [kW·h/día·m²]	Irradiación 0° [MJ/día·m2]	Irradiación 40° [kW·h/día·m2]	Irradiación 40° [MJ/día·m2]
Enero	2,45	8,82	4,38	15,768
Febrero	3,41	12,276	5,26	18,936
Marzo	5,05	18,18	6,42	23,112
Abril	6,02	21,672	6,43	23,148
Mayo	7,09	25,524	6,61	23,796
Junio	7,8	28,08	6,82	24,552
Julio	7,76	27,936	6,99	25,164
Agosto	6,74	24,264	6,83	24,588
Septiembre	5,23	18,828	6,24	22,464
Octubre	3,89	14,004	5,52	19,872
Noviembre	2,6	9,36	4,39	15,804
Diciembre	2,12	7,632	3,93	14,148

Tabla 6. Irradiancia solar en función del ángulo de inclinación

7.4. Pérdidas por orientación, inclinación y sombras

En este apartado se va a comprobar que los porcentajes de pérdidas debidas a la orientación e inclinación de los captadores y a las sombras que puedan producirse a causa de obstáculos

próximos a la instalación, no supere el valor máximo establecido por el CTE y que se ha detallado en el punto 6.3.3.

7.4.1. Pérdidas por orientación e inclinación

El objetivo de este apartado es el de determinar los límites en la orientación e inclinación de los módulos de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.

Dos parámetros importantes a conocer para realizar los cálculos son los siguientes:

- Ángulo de inclinación β . Se define como el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor varía entre 0° para módulos horizontales y 90° para los verticales. Como ya se ha explicado y argumentado en el punto anterior, en el caso de estudio el ángulo de inclinación elegido es de 40° .
- Ángulo de acimut α . Se define como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste. Como los colectores se colocaran orientados hacia el Sur, el ángulo de será de 0° .

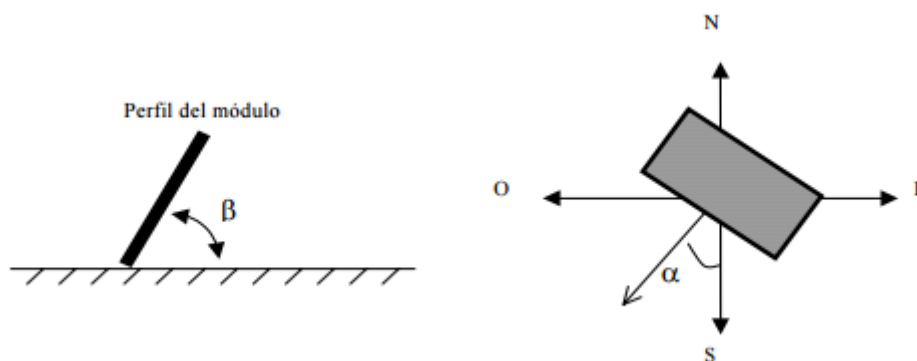


Figura 10. Representación ángulo de inclinación y ángulo de acimut. Fuente: CTE

Una vez determinados estos dos ángulos, solo queda consultar el siguiente gráfico. En él se puede consultar el porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación. En el caso de estudio, el porcentaje se encuentra entre el 5% y el 0% por lo que se cumple con el máximo permitido.

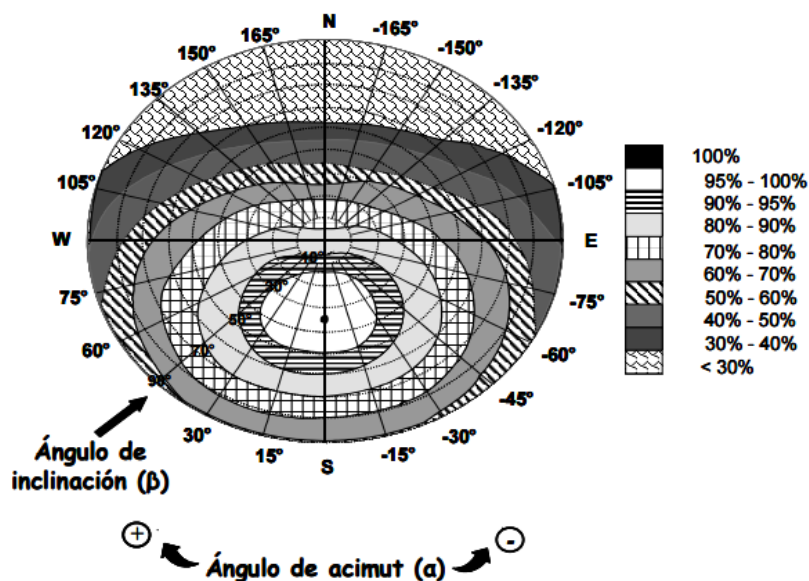


Figura 11. Pérdidas por orientación e inclinación en función de los ángulos de acimut e inclinación. Fuente: CTE

7.4.2. Pérdidas por sombras

Para realizar el cálculo de este tipo de pérdidas hay que tener en cuenta tanto las sombras causadas por los elementos físicos que rodean la instalación y las sombras causadas por los propios captadores.

- Sombras causadas por obstáculos próximos a la instalación:

Como se puede observar en la *Figura 12*, la vivienda no tiene ningún edificio cercano que pueda ocasionar pérdidas por sombras. Cabe destacar, que los captadores se colocarán en el tejado de manera que no se vean afectados por las sombras de los bordes de éste que tienen una altura superior a la base.

En el caso de que sí que hubiera algún obstáculo, habría que localizarlos y establecer sus coordenadas de posición acimut y elevación. A continuación, se tendría que representar sus perfiles en el diagrama de la *Figura 13* en el que se muestra la banda de trayectorias del sol a lo largo de todo el año y dependiendo de las celdas que ocupasen los perfiles, se obtendrían unos porcentajes de pérdidas.



Figura 12. Vista superior de los alrededores de la vivienda. Fuente: Google Maps

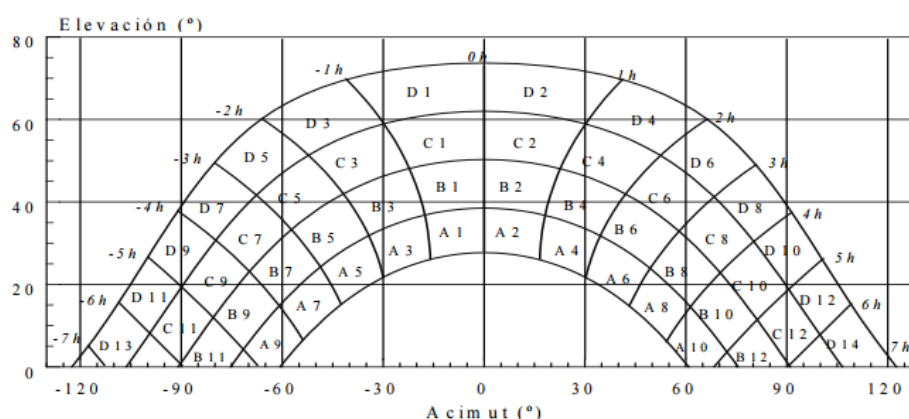


Figura 13. Diagrama representativo del recorrido del sol. Fuente: CTE

- Sombras causadas por los propios colectores

En el caso de que se necesitara disponer de más de un colector solar, habrá que tener en cuenta que éstos no se hagan sombra entre sí. Por esta razón, se va a estudiar cuál debe de ser la distancia mínima que los separe.

Según la *Instrucción Técnica Complementaria del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios)*, la separación entre filas de colectores debe de ser igual o mayor que el valor obtenido mediando la siguiente expresión:

$$d = k \cdot h$$

Siendo:

d= Distancia de separación entre filas

h= Altura del colector (ambas magnitudes expresadas con la misma unidad de medida)

k = coeficiente cuyo valor se obtiene en la *Tabla 7* a partir de la inclinación de los colectores con respecto a un plano horizontal

Inclinación (°)	20	25	30	35	40	45	50	55
Coeficiente k	1,532	1,638	1,732	1,813	1,879	1,932	1,97	1,992

Tabla 7. Valores de la constante k para diferentes inclinaciones. Fuente: RITE

7.5. Dimensionamiento del sistema de captación

Hay muchos factores que influyen en la producción energética que puede obtenerse en una instalación de energía solar térmica. Por esta razón, el cálculo riguroso es sumamente complejo y requiere de sistemas informáticos de simulación que a su vez necesitan de una enorme cantidad de datos de una alta exactitud, algo imposible de obtener en la práctica.

Por lo general se suelen emplear métodos simplificados que han sido obtenidos a partir de modelos estadísticos del funcionamiento de estas instalaciones. Estos métodos reducen en gran medida los datos necesarios para su proyección.

Los métodos de cálculo más utilizados con este propósito son el conocido como *f-Chart*¹ o el método *SOLO*². La fiabilidad de estos dos métodos está ampliamente demostrada con los datos de campo recogidos a lo largo de mucho tiempo en distintas instalaciones.

En este estudio se trabajará con el método *f-Chart*.

7.5.1. El método *f-Chart*

El método de cálculo *f-Chart*, también conocido como el método de las curvas-*f*, es uno de los métodos más utilizados para el dimensionamiento de instalaciones solares y se considera suficientemente exacto para estimaciones de largos periodos de tiempo. Fue desarrollado por

¹ BECKMAN, W.A., KLEIN, S.A., DUFFIE, J.A., *Solar Heating Design by the f-chart method*. New Jersey: John Wiley & Sons. 1977.

² Méthode mensuelle d'évaluation des performances thermiques des systèmes solaires de production d'eau chaude sanitaire. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 4 Avenue du Recteur Poincaré 75782-Paris.

Klein, Duffie y Beckmann y tiene como finalidad determinar qué fracción f de la demanda anual de ACS puede cubrir una instalación.

El método *f-Chart* identifica las variables adimensionales importantes del sistema y utiliza la simulación detallada para encontrar correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio en un largo periodo de tiempo. Las correlaciones encontradas se representan de forma gráfica y se denominan curvas-f.

Cabe destacar que el *Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones de Baja Temperatura* del IDAE especifica que se puede utilizar este método de cálculo (el CTE no establece ningún criterio de cálculo a la hora de hacer el dimensionado de la instalación, sólo obliga a cumplir con la contribución solar mínima).

7.5.2. Cálculos del método f-Chart

La fracción solar f se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 + 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3$$

Cálculo del factor D_1 :

La variable adimensional D_1 se define como la relación entre la energía absorbida por el captador y la carga calorífica mensual:

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_a} = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

La carga calorífica mensual, calculada en el apartado 7.2, determina la cantidad de calor necesaria mensual para calentar el agua destinada al consumo doméstico.

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_a = S_c \cdot F'_\tau(\tau\alpha) \cdot R_1 \cdot N$$

Donde:

S_c = Superficie del captador

R_1 = Radiación diaria mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kJ/m^2)

N = Número de días del mes

$F'_\tau(\tau\alpha)$ = Factor adimensional que viene dado por la siguiente expresión:

$$F'_\tau(\tau\alpha) = F_\tau(\tau\alpha)_n \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \left(\frac{F'_\tau}{F_\tau} \right)$$

Donde:

$F_\tau(\tau\alpha)_n$ = Factor de eficiencia óptica del captador. También se conoce como la ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$ = Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como una constante de 0,96 para superficies transparente sencilla o 0,94 en el caso de que sea doble.

$\frac{F'_\tau}{F_\tau}$ = Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

Cálculo del factor D_2 :

La variable adimensional D_2 se define como la relación entre la energía perdida por el captador y la carga calorífica mensual:

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_a} = \frac{\text{Energía perdida por el captador}}{\text{Carga calorífica mensual}}$$

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_p = S_c \cdot F'_\tau U_L \cdot (100 - T_{amb}) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Donde:

S_c = Superficie del captador (m^2)

T_{amb} = Temperatura media mensual del ambiente durante las horas diurnas

Δt = Periodo de tiempo considerado (s)

$F'_{\tau}U_L$ = Factor adimensional que viene dado por la siguiente expresión:

$$F'_{\tau}U_L = (F_{\tau}U_L) \cdot \left(\frac{F'_{\tau}}{F_{\tau}}\right)$$

Siendo:

$F_{\tau}U_L$ = Coeficiente global de pérdidas del captador. También se conoce como la pendiente de la curva característica del captador.

K_1 = Factor de corrección por almacenamiento que se obtiene como:

$$K_1 = \left(\frac{V}{75 \cdot S_c}\right)^{-0,25}$$

Siendo:

V = Volumen de acumulación solar en litros. Según el CTE HE 4, este volumen tiene que ser tal que cumpla la relación $50 < V/S_c < 180$.

K_2 = Factor de corrección que se calcula como:

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_{ACS} + 3,86 \cdot T_{AF} - 2,32 \cdot T_{amb}}{100 - T_{amb}}$$

Donde:

$$T_{ACS} = 60^{\circ}\text{C}$$

T_{AF} = Temperatura a la que se encuentra el agua corriente de la red

Una vez se han definido todos estos parámetros, se puede llevar a cabo los cálculos pertinentes con el fin de establecer el dimensionamiento del sistema de captación.

A continuación, se muestra una tabla resumen en la que se han incluido diferentes modelos de colectores de varios proveedores. Para poder comparar el funcionamiento de diversos modelos, se ha hecho una selección de varios de ellos, 12 en total. Este repertorio procura contener modelos con diferentes características (proveedor, rendimiento y coeficiente de pérdidas) pero manteniendo por lo general superficies de captación reducidas ya que se prevé que este tipo de dimensión será suficiente para el objeto de estudio. Los parámetros que

aparecen en esta tabla son la superficie de apertura unitaria (S_c), el factor de eficiencia óptico ($F_t(\tau\alpha)_n$) y el coeficiente global de pérdidas (F_tU_L).

Marca	Modelo	Superficie apertura colector [m2]	Factor eficiencia óptica	Coeficiente global de perdidas
9REN GAMELUX	Gamelux N	2,1	0,773	3,1
ANDATER	GF 50 NV	4,289	0,796	3,375
Apolo	Colector plano	1,8	0,79	4,25
ASTERSA	AT 026	2,51	0,748	3,718
BIASI	CB 2.56 S	2,26	0,78	3,41
HUCU SOLAR ESPAÑA SL	CALORAMA 2309 V-S	1,989	0,81	4,912
BUDARUS	LOGASOL SKS 4.0 S	2,1	0,851	4,036
THERMOSUN	COL 2	2,13	0,77	3,8
VAILLANT VFK	AUROTHERM VFK 125	2,35	0,753	3,94
FAGOR	Solaria 2.4 AL S8	2	0,801	3,93
CHROMAGEN	CR 12S8	2,46	0,808	3,2
LUMELCO	ST-2500	2,35	0,767	3,748

Tabla 8. Características de modelos de captadores solares

Con la información de estos modelos de colectores se han realizado los cálculos correspondientes al *Método f-Chart* descrito más arriba (se pueden encontrar de manera detallada en el apartado 3.1 del Anexo).

En las siguientes tablas, se adjunta la información más relevante de estos cálculos. En la *Tabla 9*, aparecen los datos que son comunes a todos los modelos de captador ya que no dependen de sus parámetros. En la *Tabla 10*, se ha hecho un resumen de los resultados obtenidos con el método de cálculo.

Mes	N	T _{amb}	T _{red}	T _{ACS} -T _{red}	Q _{mes}	Q _a	Irradiacion diaria a 40°	Irradiacion mensual a 40°
	[d]	[°C]	[°C]	[°C]	[L]	[kW·h]	[kW·h/día·m²]	[kW·h/m²]
Enero	31	11,9	10,8	49,2	4.340,0	247,7	4,4	135,8
Febrero	28	12,1	10,8	49,2	3.920,0	223,8	5,3	147,3
Marzo	31	13,7	11,8	48,2	4.340,0	242,7	6,4	199,0
Abril	30	15,6	12,9	47,1	4.200,0	229,5	6,4	192,9
Mayo	31	18,6	14,9	45,1	4.340,0	227,1	6,6	204,9
Junio	30	22,6	17,9	42,1	4.200,0	205,1	6,8	204,6
Julio	31	25,6	19,9	40,1	4.340,0	201,9	7,0	216,7
Agosto	31	26,3	19,9	40,1	4.340,0	201,9	6,8	211,7
Septiembre	30	23,8	18,9	41,1	4.200,0	200,3	6,2	187,2
Octubre	31	20,2	16,8	43,2	4.340,0	217,5	5,5	171,1
Noviembre	30	15,9	13,8	46,2	4.200,0	225,1	4,4	131,7
Diciembre	31	13,1	11,8	48,2	4.340,0	242,7	3,9	121,8
Total anual	365	-	-	-	51.100,0	2.665,4	-	2.124,8
Media anual	30	18,3	15,0	45,0	4.258,3	222,1	5,8	177,1

Tabla 9. Valores comunes para todos los captadores en los cálculos del método f-Chart

Modelo	Nº de captadores	Superficie captador	f _{mín}	f _{máx}	f _{medio}
Gamelux N	1,0	2,1	0,6	1,0	0,8
GF 50 NV	1,0	4,3	0,9	1,3	1,2
Apolo	1,0	1,8	0,5	0,9	0,7
AT 026	1,0	2,5	0,6	1,1	0,9
CB 2.56 S	1,0	2,3	0,6	1,0	0,9
Calorama	1,0	2,0	0,5	1,0	0,8
Losagol SKS 4.0S	1,0	2,1	0,6	1,0	0,9
Col 2	1,0	2,1	0,5	1,0	0,8
Aurotherm	1,0	2,4	0,6	1,0	0,8
Solaria 2.4 AL S8	1,0	2,1	0,6	1,0	0,8
Lumelco 2500	1,0	2,4	0,6	1,0	0,9
CR 12S8	1,0	2,5	0,7	1,1	0,9

Tabla 10. Resultados obtenidos con el método f-Chart para los modelos seleccionados

Con el fin de poder continuar con el estudio de esta instalación, se va a proceder a elegir uno de los modelos. Aunque a grandes rasgos los resultados obtenidos son similares, se van a realizar una serie de comprobaciones:

1. La contribución solar de la instalación sea mayor o igual a la contribución solar mínima exigida por el CTE.

2. La energía producida por la instalación en ningún mes podrá superar el 110% de la demanda y en no más de tres meses el 100%. Tampoco se tomará en consideración aquellos periodos de tiempo en los cuales la demanda energética se sitúe un 50% por debajo de la media correspondiente al resto del año, tomándose medidas de protección tal y como se ha explicado en el punto 6.3.2.
3. Para la aplicación de ACS, el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición también mencionada en el apartado 6.3.5.
4. Se ha tenido en cuenta que se cumpliera la siguiente condición establecida por el *IT 10* del *RITE* que resulta más restrictiva en cuanto a la dimensión total de captación:

$$1,25 \leq \frac{100 \cdot A}{M} \leq 2$$

Donde:

A = La suma de las áreas de los colectores (m²)

M = El consumo medio diario de los meses de verano (L/d)

Finalmente, el modelo que se ha considerado más conveniente es el *Solaria 2.4 AL S8* de *Fagor*, aunque igual de correctos hubieran sido los modelos *Apolo* y *Gamelux N*. Este modelo se encuentra a la venta por un precio de 717 € (sin I.V.A. incluido). Con éste se comprueban las consideraciones comentadas anteriormente. Se asegura que en cada mes se alcance la contribución mínima y además, se evita llegar en ninguna ocasión al 100% de la producción, que aunque parezca un hecho contraproducente en la realidad no es así. Si se produce más de lo que se consume hay que tomar una serie de medidas al respecto que de esta manera se ahorran (medidas que se han mencionado en el punto 6.3.5). Además, está demostrado que el consumo medio real es mucho menor de lo que establece el *CTE*, por lo que el porcentaje de la contribución mínima de la instalación puede llegar a aumentar.

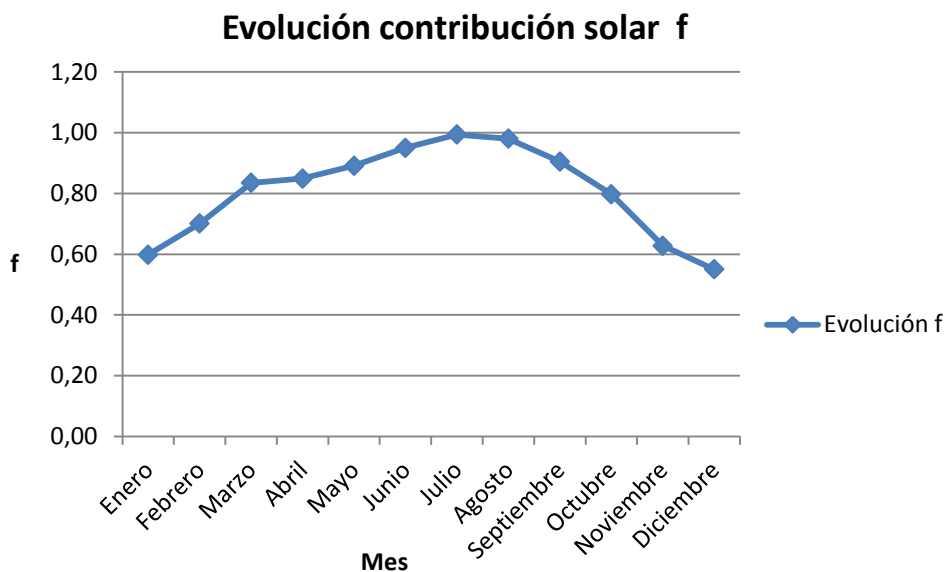


Gráfico 2. Evolución de la contribución de la instalación a lo largo del año

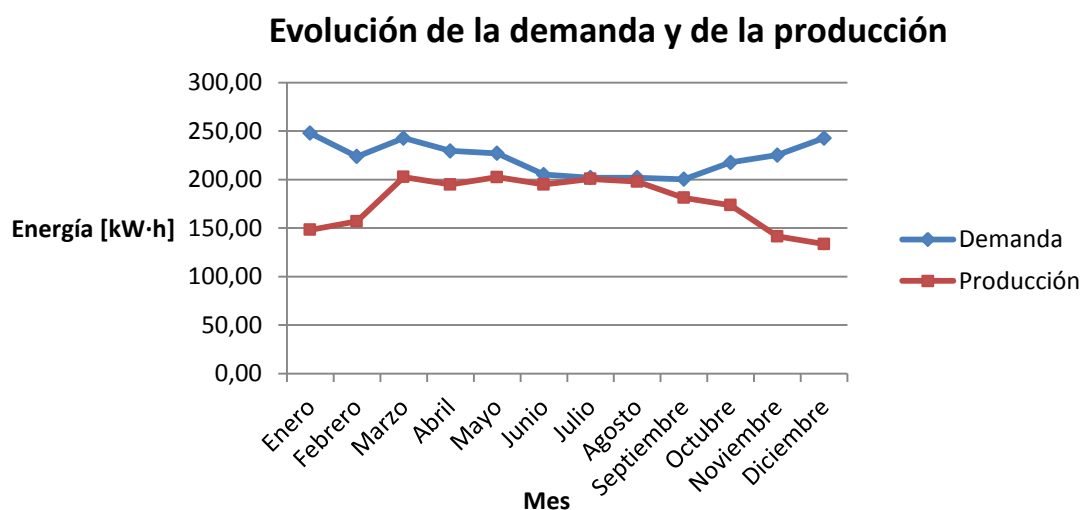


Gráfico 3. Evolución de la demanda energética y de la parte proporcional que produce la instalación solar térmica

7.5.3. Distribución y conexión de los captadores solares

Existen dos tipologías básicas para agrupar dos o más captadores, en serie o en paralelo. El primer tipo se caracteriza porque la salida del primer colector se conecta directamente con la entrada del siguiente y así sucesivamente. La temperatura del fluido de entrada en cada colector es superior a la del captador precedente, se forma que a la salida de la batería o grupo de captadores se pueden obtener temperaturas más altas que si se trabaja con el salto térmico de un solo captador.

En el segundo tipo, tanto la salida como la entrada de los captadores están conectadas a puntos de entrada y salida comunes al resto de captadores. Con esta configuración, la temperatura del fluido de entrada y salida es la misma en todos los captadores, de forma que en la salida de la batería de captadores se obtiene la temperatura como si se trabajase con el salto térmico de un solo captador. Este tipo de conexión es el recomendado por el ITE 10.1.3 del RITE.

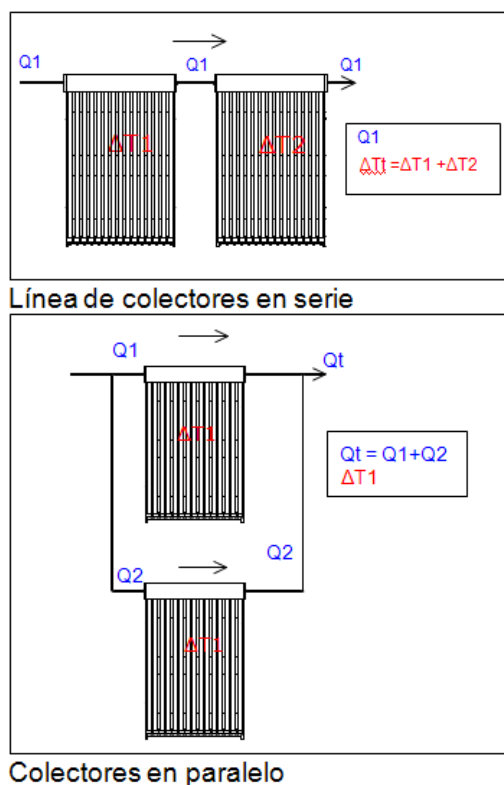


Figura 14. Conexión en paralelo vs. conexión en serie

Como en el caso de estudio se precisa de un solo colector, no será necesario entrar en más detalle sobre la conexión entre colectores. Por esta misma razón no será tampoco necesario establecer las distancias reglamentarias para evitar las sombras que ya se han explicado en el punto 7.4.2.

7.5.4. Estructura de soporte

El colector deberá estar soportado por una estructura normalmente de acero, que irá montada sobre la cubierta. Las estructuras son modulares para facilitar su transporte e instalación. Además, están fabricadas en acero galvanizado en caliente y son resistentes a la corrosión

siendo aptas para toda clase de ambientes. El mismo fabricante de los colectores provee opcionalmente de dichas estructuras.

En este caso, *Fagor* dispone de estructuras de soporte para superficies planas con una inclinación de 45° y 30°. Habría que buscar el soporte en otro fabricante o tomar la decisión de cambiar los 40° establecidos a 45° (esto afectaría a la irradiancia del sol sobre la superficie cuyo efecto no sería apreciable).

Terraza plana 45°



Ejemplo de estructura

Estructuras para captadores 2,4 y 2,1 a 45°

Denominación	Código	EAN-13	Cant.	Precio*
1 captador				
Escuadra 45°	979010352		2	195€
Varios estructura 2 x 2,4 a 45°	979010361		1	

Figura 15. Soporte recomendado por el fabricante de colectores *Fagor*. Fuente: *Fagor*

7.5.5. Fluido caloportador

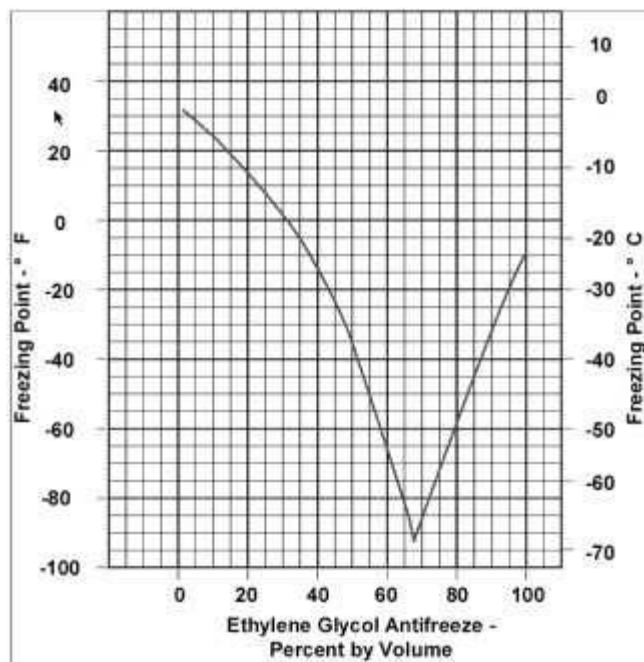
El fluido caloportador suele consistir en una mezcla de anticongelante con agua destilada, lo que protege el sistema en caso de heladas y contra la corrosión. En este caso el fabricante sólo indica que el fluido debe de ser agua o agua glicolada.

El porcentaje de anticongelante en la mezcla depende de hasta a qué temperatura pretende evitarse que el fluido pueda helarse, y que según el *CTE* ha que ser 5 grados inferior a la mínima registrada en la zona. Según *AEMET*, la temperatura mínima registrada en Ibiza es de -3°C por lo que se tendría que considerar -8°C para este propósito.

En la siguiente imagen se puede observar cómo varia el porcentaje en peso de anticongelante que hay que añadir a la mezcla en función de la temperatura. Para los -8°C considerados en este caso, que equivalen a 17,6°F, el porcentaje aproximado de etilenglicol es del 20%.

De esta manera el calor específico total es la suma del calor específico del etilenglicol más el del agua:

$$C_{\text{especifico total}} = 0,2 \cdot C_{\text{etilenglicol}} + 0,8 \cdot C_{\text{agua}} = 0,2 \cdot 1 + 0,8 \cdot 0,6 = 0,68 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$



Gráfica 1. Concentración de anticongelante en función de la temperatura

7.6. Dimensionamiento del sistema de intercambio y del sistema de acumulación

El hecho de que el dimensionamiento de estos dos sistemas independientes se realice en el mismo apartado no es una casualidad. Hasta ahora se han diferenciado ambos sistemas y se ha tratado al circuito general de la instalación como un conjunto de dos sub-circuitos, el primario y el secundario.

Llegados a este punto, en el que se mira más las opciones reales del mercado que no el análisis teórico de los elementos del sistema, hay que mencionar que en la actualidad se está sustituyendo en muchos casos la división de los dos circuitos por la integración de ambos “en el mismo”. Esta nueva situación hace que el sistema de intercambio y el sistema de acumulación sean un solo sistema en donde el elemento principal de trabajo se conoce por el nombre de interacumulador.

El interacumulador se caracteriza por cumplir las funciones tanto del intercambiador como del acumulador. Se encarga de realizar la transmisión de calor entre el fluido caloportador y el agua de la red a la vez que sirve de depósito para almacenarla.

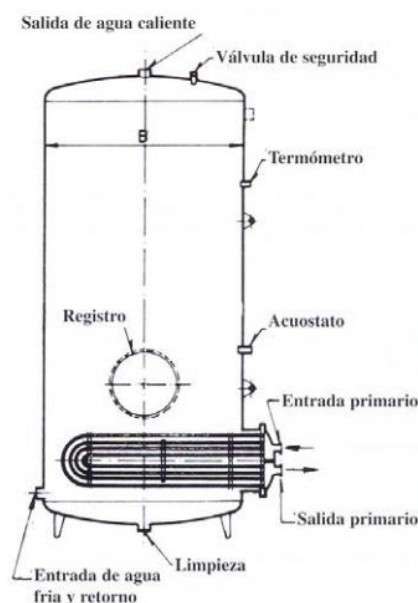


Figura 16. Interacumulador

En la *Figura 17* se puede observar cómo ahora el circuito primario es el formado por las tuberías que salen del colector y se dirigen al serpentín del interacumulador y el circuito secundario es el encargado de transportar el agua a los puntos de consumo. El depósito por su parte garantiza que antes de agotarse el volumen de ACS disponible, le dé tiempo a calentar agua fría que entra de nuevo. De esta manera existe un volumen de acumulación y otro de producción que aseguran el buen servicio.

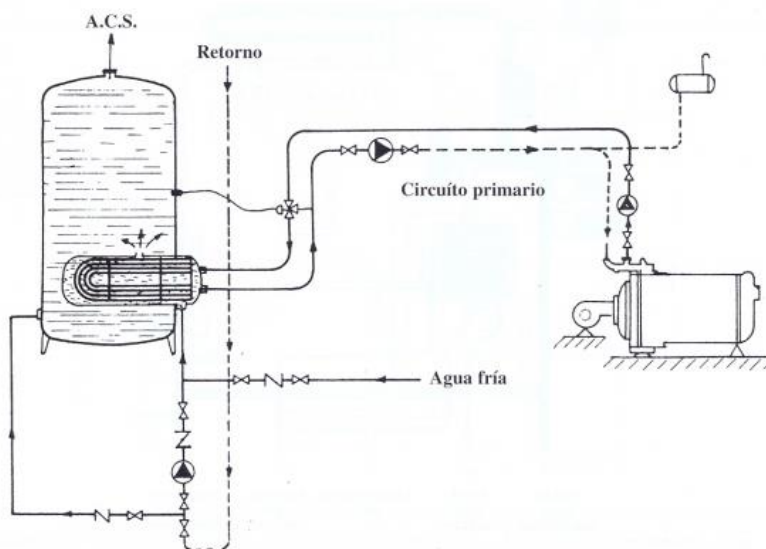


Figura 17. Ejemplo de circuito con el uso de un interacumulador

La acumulación de agua permite reducir la temperatura media de funcionamiento de los captadores solares, lo que produce un aumento de la producción energética de la instalación, puesto que a mayor temperatura menor es el rendimiento de los colectores. Sin embargo, si este volumen de acumulación es muy elevado, se reduce la temperatura del agua almacenada.

Por este motivo, y tal y como se ha tenido en cuenta en los cálculos del dimensionado del sistema de captación, de acuerdo a lo establecido en el *RITE*, el volumen de acumulación cumplirá la condición:

$$0,8 \cdot M \leq V \leq M$$

Siendo:

V = Volumen de acumulación [L]

M = Consumo de agua [L/d]

De esta manera, el volumen del acumulador debería encontrarse entre los 112 L y los 140 L.

Cabe destacar que en los cálculos del dimensionado de la superficie del captador solar se ha optado por establecer un volumen de acumulación de 140 L de manera que se cumple tanto la condición explicada anteriormente (*ITE 10* del *RITE*) como la mencionada en el apartado 6.3.5 por la que el volumen de acumulación debería de encontrarse entre los 107 L y los 385 L según el *DB HE* del *CTE*.

Los acumuladores de dispondrán de manera vertical para favorecer la estratificación.

7.6.1. Elección del depósito de interacumulación

Para la elección de este dispositivo se ha partido principalmente de la restricción establecida por la capacidad del volumen en litros. A partir de ahí, se han revisado las opciones que ofrece el mercado y se han comprobado las recomendaciones del fabricante de los colectores.

Como no se han encontrado grandes diferencias entre los productos de los diferentes fabricantes consultados (volumen de capacidad, precio, etc.), se ha optado por continuar confiando en el mismo fabricante de los colectores. Los beneficios que aportará trabajar con una misma marca radican básicamente en que los diferentes elementos estarán mejor adaptados a trabajar entre ellos además de que si en alguna ocasión se produce algún problema con la instalación, el servicio técnico al que se deberá acudir será el mismo y estará familiarizado con sus productos.

Aunque en los cálculos se haya trabajado con un volumen de acumulación de 140 L, no se ha podido encontrar en el mercado uno que tenga estas especificaciones. Por esta razón se ha elegido uno que sea lo más similar posible y que cumpla las especificaciones. Igualmente, se ha podido comprobar que este pequeño cambio afecta de manera despreciable a los cálculos ya que de él sólo depende la constante K_1 .

Finalmente, el modelo que se ha elegido ha sido el interacumulador de suelo con un serpentín *ISF-200 S1 SR* que tiene una capacidad de 110 L. Aunque no acabe de cumplir las dos condiciones establecidas por el *RITE* y el *CTE*, se considera que basta que cumpla con una ya que según el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, ambos reglamentos son del mismo rango de importancia.

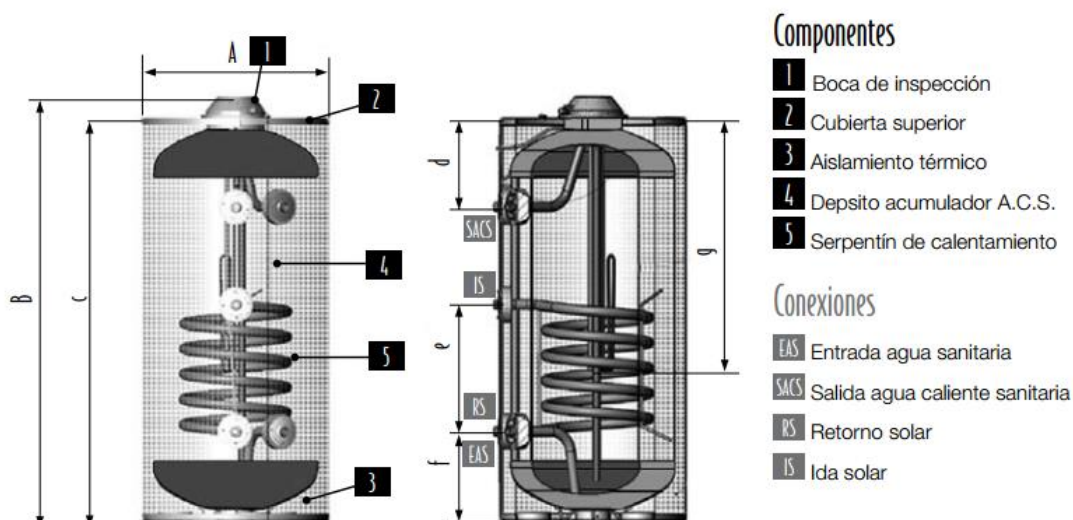


Figura 18. Esquema del interacumulador ISF-200 S1 SR de la marca Fagor. Fuente: Fagor

El funcionamiento del acumulador se caracterizará por los siguientes aspectos:

- En la parte inferior se encuentra el punto EAS que es por donde entra el agua sanitaria de la red.
- En la parte superior del interacumulador se encuentra el punto SACS que es por donde sale al ACS para el consumo.
- El agua caliente se encuentra en la parte superior y la fría en la inferior para facilitar la estratificación de temperaturas, motivo por el que además los interacumuladores son siempre verticales con una altura bastante mayor a su diámetro. Lo que se consigue con esto es que el agua más caliente sea la que se consuma, mejorando el rendimiento de la instalación.
- El punto IS es por donde entra el fluido caloportador que llega desde los colectores solares.
- El punto RS es el retorno solar, es decir, por donde vuelve el fluido caloportador enfriado de vuelta a los colectores.
- La conexión para la entrada del agua de red podrá utilizarse puntualmente para el drenaje del acumulador.
- Todas las conexiones se harán evitando caminos preferentes y contarán con válvulas de corte porque es lo establecido por la normativa para permitir las operaciones de mantenimiento o reparación sin vaciar el resto de la instalación.
- Para proteger al interacumulador, se instalará una válvula de seguridad tarada a una presión admisible por este dispositivo y todos los elementos conectados a él.

- El interacumulador estará dotado de una serie de elementos de conexión como son los manguitos anti-electrolíticos.

Aunque no se vaya a proceder al dimensionamiento en sí de un intercambiador de calor, sí que se va a comprobar que la resistencia del serpentín del acumulador tiene una capacidad suficiente para calentar el agua necesaria.

Como el *DB HE 4* del *CTE* no especifica ninguna condición que limite la elección de este dispositivo, se va a hacer referencia a la versión anterior, que data del año 2009, en la que el punto 3.3.1 establece que “la potencia mínima del intercambiador P , se determinará para las condiciones de trabajo en las horas centrales del día suponiendo una radiación solar de 1000 W/m² y un rendimiento de la conversión de energía solar a calor del 50 %”³.

Si se cumple la siguiente expresión:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Siendo:

P = Potencia del intercambiador [W]

A = Superficie de captación [m²]

En consecuencia, se establece que el intercambiador se caracterizará por tener una potencia mínima de 1,07 kW.

Si se compara este valor con la potencia total de la que dispone el sistema auxiliar de energía se puede observar que es muy inferior (la caldera de gasoil tiene una potencia de 25.000 kcal/h que equivale a unos 29 kW·h). Esta diferencia se debe a varias razones, por una parte, el dimensionado de la caldera instantánea no sólo tiene en cuenta el ACS de uso diario sino también la calefacción que tendrá que prever en los meses más fríos. Cabe destacar que es esta segunda función la que más demanda energética exige. Por otra parte, la demanda que se tiene en cuenta para estos dimensionados suele ser la de una situación límite o pico (cuando todos los elementos dependientes de la caldera están en funcionamiento), no la demanda de un uso corriente.

³ Ministerio de Fomento (2009). Documento Básico HE Ahorro de Energía. Recuperado el 10 de junio del 2015 de http://www.codigotecnico.org/cte/export/sites/default/web/galerias/archivos/DB_HE_abril_2009.pdf

La expresión establecida por el *CTE* es simplemente una guía que sirve para establecer la potencia mínima que deberá de tener el sistema de generación de ACS a partir de la superficie total de captación. Cabe recordar que esta superficie se ha obtenido a partir de una demanda de referencia correspondiente a un uso corriente del agua y no a una situación límite.

A partir de aquí, si se recurre a la información de la ficha de características técnicas del interacumulador, se puede observar que la potencia de la resistencia eléctrica es de 2,5 kW por lo que cumple con lo establecido.

7.7. Sistema hidráulico

En este apartado se estudiarán las condiciones de las tuberías que transportan los fluidos desde los colectores al interacumulador, y viceversa, y las bombas que asegurará el movimiento de este fluido.

7.7.1. Dimensionamiento de las tuberías

- Material

El material más común para las tuberías de este tipo de instalaciones es el cobre. Es muy aconsejable ya que cumple a la perfección con las indicaciones técnicas y además es económico y fácil de encontrar en el mercado. El factor más importante de este material es que presenta un coeficiente de dilatación bajo por lo que se evitarán grandes dilataciones cuando el fluido que transporte alcance elevadas temperaturas.

- Caudal

Según el *CTE*, el caudal del fluido caloportador se determinará a partir de las especificaciones del fabricante de los captadores solares. Según *Fagor*, se recomienda que el captador *Solaria 2.4 AL S8* trabaje con un caudal de 45 L / h·m². Por lo tanto, sabiendo que el área de captación es de 2,14 m², se obtiene que:

$$Q = 45 \frac{\text{L}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \cdot 2,14 \text{m}^2 = 96,3 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 0,026 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Al tratarse de un solo colector solar, el caudal de salida y de entrada será el mismo.

- Diámetro, velocidad y pérdidas de carga

A partir de caudal calculado para las tuberías entre el captador y el acumulador, se puede calcular el diámetro mínimo teórico que deberán de tener. Para ello se va a tener en cuenta la relación entre el caudal, el área de la sección de la tubería y la velocidad:

$$Q = A \cdot v = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot v$$

Donde:

A = Área sección de la tubería (m^2)

v = Velocidad (m/s)

Q = Caudal (m^3/s)

Aplicando esta relación, se obtiene que:

$$D = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{96,3}{\frac{3600 \cdot 1000}{\pi \cdot v}}}$$

Para establecer el diámetro mínimo, se necesita considerar cuál es la velocidad máxima que puede soportar la tubería. En el punto 4.2.1 del *Documento Básico de Salubridad*, sección *HS-4*, la elección de la velocidad de cálculo debe de estar comprendida entre los 0,5 y 2 m/s cuando se trata de tuberías metálicas. Por esta razón, partiendo de que la velocidad de cálculo es de 2 m/s, el diámetro mínimo de la tubería tendrá que ser de 4,12 mm.

A continuación, mediante la norma *UNE EN 1057* para “Cobre y aleaciones de cobre. Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción”, se puede encontrar la relación de diámetros que se ofrece en el mercado de las tuberías de cobre. En la *Tabla 11* se puede observar que el diámetro más similar que cumple con la especificación anteriormente calculada del diámetro mínimo es el de 6 mm menos un espesor de pared de 0,8 mm.

Epesor de pared nominal en mm	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0
Diámetro exterior nominal en mm	Diámetro interior en mm											
6		4,8		4,4		4						
8		6,8		6,4		6						
10		8,8	8,6	8,4		8						
12		10,8	10,6	10,4		10						
14				12,4		12						
15			13,6	13,4		13						
16						14						

Tabla 11. Valores de diámetros de tubos de cobre en el mercado según la UNE-EN 1057.
Fuente: El Cobre

De esta manera, el diámetro mínimo interior de la tubería sería de 4,4 mm y por lo tanto, la velocidad real del fluido caloportador sería la siguiente:

$$v_{real} = \frac{Q}{A} = \frac{96,3}{\frac{\pi \cdot 0,0072^2}{4}} = 1,75 \text{ m/s}$$

Como se puede observar, la velocidad sigue estando dentro de los límites permitidos para tuberías de cobre.

Llegados a este punto, aunque teóricamente los valores del diámetro y de la velocidad sean correctos, hay que tener en cuenta otros aspectos que van a continuar restringiéndolos. Como en la parte del dimensionamiento de bombas (apartado 7.8.2) se va a realizar un estudio más exhaustivo de las pérdidas de carga de los diferentes elementos de la instalación, será allí donde se acabe de delimitar los valores de las velocidades y los diámetros de las tuberías.

7.7.2. Dimensionamiento de la bomba hidráulica

Con el fin de asegurar el movimiento del fluido por el recorrido de las tuberías, en este proyecto se plantea la instalación de una circulación forzada mediante bombas hidráulicas. Éstas son necesarias porque a medida que el fluido circula por los diferentes elementos del circuito (tuberías, colectores, válvulas, etc.) sufre pérdidas de carga que deben compensarse

con un sistema de impulsión adecuado para cada circuito particular. La instalación constará de un bomba que se encargará de impulsar el fluido caloportador de retorno desde el interacumulador hasta los colectores.

Esta bombas deben de ser seleccionada mediante su curva característica de funcionamiento que relaciona la pérdida de carga que puede vencer en función del caudal circulante o en función de la potencia eléctrica suministrada por la bomba. Para este segundo caso habría que calcular la potencia necesaria para impulsar el fluido con el fin de aportar la presión necesaria para vencer las caídas de presión. En ambos casos es necesario calcular las pérdidas de cargas singulares y lineales que tendrá que soportar el fluido en su recorrido.

7.7.2.1. Cálculo de las pérdidas de carga

A continuación se va a realizar una explicación, dentro del alcance y de la complejidad a la que llega este proyecto, sobre las principales pérdidas de carga que sufre el fluido durante el recorrido de la instalación. En todo momento se va a tener en cuenta las restricciones de los diferentes organismos y normas en cuanto a la velocidad del fluido y el valor total de las pérdidas.

Las pérdidas totales del circuito primario estarán conformadas por las pérdidas de las tuberías, de los colectores, del interacumulador de calor, de las electroválvulas y de la diferencia de altura.

1. Pérdidas en las tuberías

Para estos cálculos se va a utilizar la información que facilita la norma *UNE-EN 1057*.

A partir del *Gráfico 4* se pueden obtener las pérdidas de carga lineal de las tuberías mediante la introducción de dos de los siguientes tres valores: el diámetro de la tubería, el caudal o la velocidad del fluido.

Antes de adentrar en el cálculo de las pérdidas, es necesario tener en cuenta ciertos aspectos:

- Las pérdidas por carga lineal suelen tener un valor admisible comprendido entre los 10 y los 40 mm c.a. por metro lineal de tubería.

- El valor total de las pérdidas, teniendo en cuenta tanto las lineales como las singulares, debe de ser inferior a los 7 m c.a.
- Para evitar ruidos excesivos, se suelen desestimar velocidades por encima de 1,5 m/s. De hecho, en el *DB HR Protección contra el Ruido* del CTE, limita la velocidad circulación a 1 m/s en las tuberías de calefacción y radiadores de viviendas.

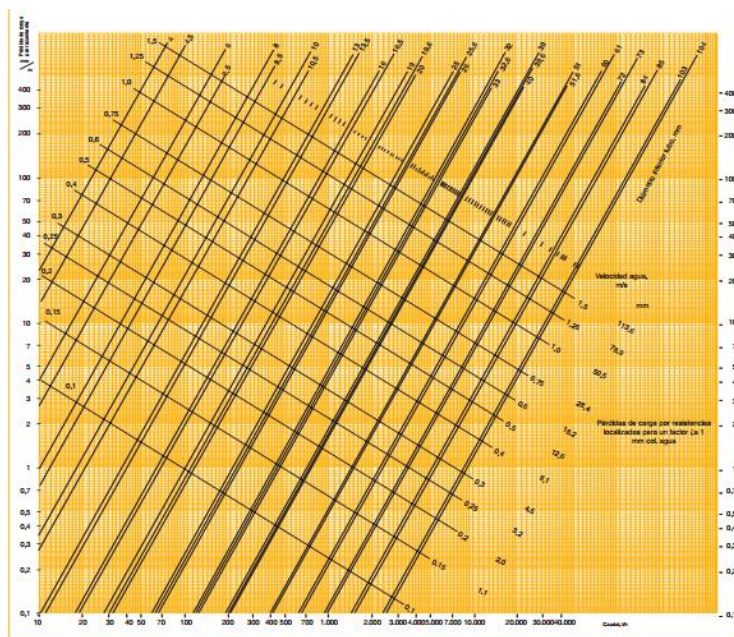


Gráfico 4. Pérdidas de carga lineal en función del caudal del fluido, la velocidad del fluido y el diámetro del tubo proporcionadas por la UNE-EN 1057. Fuente: El Cobre

Si se parte del caudal de 96,3 L/h, el recomendado por el fabricante de los colectores, y de un máximo de 40 mm c.a. de pérdidas por metro lineal de tubo al que se le aplica un factor de corrección de 0,96 ya que este diagrama es para fluidos a una temperatura de 45° y no de 60°, se obtiene una velocidad de 0,5 m/s y un diámetro interior de 8,4 mm.

En cuanto al cálculo de las pérdidas de carga singular, éstas dependen de las singularidades, de sus longitudes equivalentes (adjuntadas en la *Tabla 12*) y de las pérdidas de carga por rozamiento. Del *Gráfico 6*, se puede obtener un coeficiente H de 45 mm c.a./m que multiplicado por la longitud total de singularidades daría el valor de las pérdidas por cargas singulares.

Singularidad	Longitud equivalente
Derivación en T	2,2
Codos de 90°	1,5
Llaves de bola	1
Válvula de antirretorno	1
Entrada de acumulador	1,5
Salida de acumulador	1

Tabla 12. Longitudes equivalentes de las singularidades en las tuberías de cobre según la UNE-EN 1057

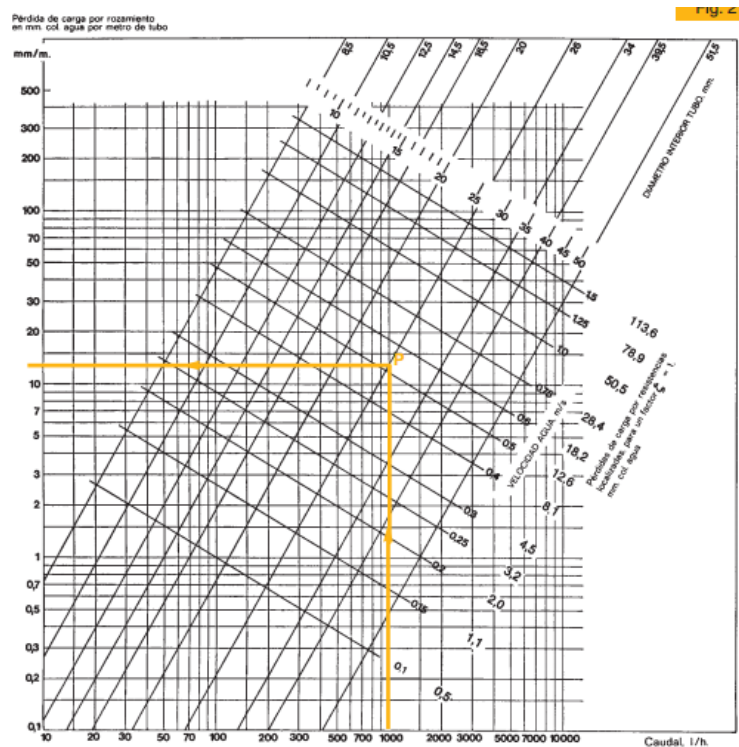


Gráfico 5. Pérdidas de carga singular en función del caudal del fluido, la velocidad del fluido y el diámetro del tubo proporcionadas por la UNE-EN 1057

Las pérdidas totales se calcularían como la suma de las lineales junto con las singulares.

$$\Delta h_{\text{totales}} = \Delta h_{\text{lin}} + \Delta h_{\text{sing}} = 0,040 \cdot X + 0,045 \cdot Y$$

Donde:

$$\Delta h_{\text{totales}} = \text{Pérdidas totales (m c.a.)}$$

Δh_{lin} = Pérdidas de carga lineal (m c.a.)

Δh_{sing} = Pérdidas de carga singular (m c.a.)

X = Longitud total de tramo lineal (m)

Y = Longitud equivalente del total de las singularidades (m)

Si se aproxima la longitud virtual del tramo lineal a unos 12 m y la del tramo singular a unos 4 m, $\Delta h_{totales}$ equivalen a 0,66 m c.a.

2. Pérdidas en los colectores

La caída de presión en línea del colector viene dada por el fabricante:

$$\Delta P = 1,85 \cdot Q^2 + 7,32 \cdot Q$$

Siendo:

ΔP = Pérdida de carga por colector (mm c.a.)

Q = Caudal [L/min]

Para $Q = 96,3$ L/h se obtiene $\Delta P = 16,51$ mm c.a.

3. Pérdidas en el interacumulador

En la hoja de características del fabricante se proporciona un gráfico que relaciona el caudal con la pérdida de carga. Para un caudal de 96,3 L/h, la pérdida resulta ser de 250 mm c.a.

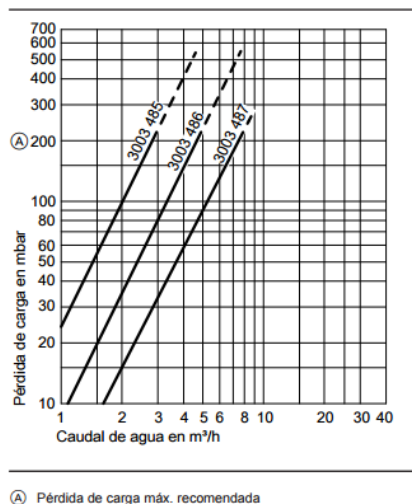


Gráfico 6. Pérdidas del intercambiador proporcionadas por el fabricante

4. Pérdidas en la electroválvula

El circuito primario constará de una electroválvula que producirá una pérdida de carga aproximada de 1 m c.a según varios fabricantes.

5. Pérdidas por la diferencia de altura

Para propulsar el fluido desde la sala de máquinas que se encuentra en la planta baja hasta los colectores que se encuentran en el tejado éste deberá de subir una altura aproximada de 5 metros.

Finalmente, el circuito primario generará las siguientes pérdidas:

$$\Delta h_{\text{totales}}^{\text{primario}} = 0,66 + 0,0165 + 0,25 + 1 + 5 = 6,92 \text{ m c. a.}$$

Por último, cabe añadir que estos cálculos relacionados con las pérdidas de carga son bastante aproximados y que entrar en más detalle sobre la exacta distribución de la instalación y de los elementos singulares que conformarían el recorrido de las tuberías se sale del alcance y de la complejidad de este estudio.

Como ya se dispone de las pérdidas totales de ambos circuitos, se puede pasar a calcular las especificaciones de las bombas. La potencia de la bomba se calcularía de la siguiente manera:

$$P_{\text{hidráulica}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$P_{\text{eléctrica}} = \frac{P_{\text{hidráulica}}}{\eta}$$

Donde:

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

g = Gravedad 9,81 (m/s²)

Q = Caudal del fluido (m³/s)

H = Altura manométrica de la bomba (m)

η = Rendimiento de la bomba

Para la bomba del circuito primario:

$$\rho = 0,8 \cdot \rho_{agua} + 0,2 \cdot \rho_{etilenglicol} = 0,8 \cdot 1000 + 0,2 \cdot 1110 = 1022 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{hidráulica} = 1022 \cdot 9,81 \cdot \frac{96,3}{3600 \cdot 1000} \cdot 6,92 = 1,85 \text{ W}$$

El valor anterior representa la potencia teórica de la bomba. Teniendo en cuenta que se trata de un electrocirculador de pequeña potencia (inferior a 100 W), la eficiencia del dispositivo se encontrará entre el 20% y el 50%. De esta manera, la $P_{elétrica}$ será de unos 9,28 W.

Para elección de este dispositivo se opta por el modelo *ALPHA2 N* del fabricante *Grundfos*, recomendado para la recirculación de fluidos en ACS y con una potencia de entrada mínima de 3 W y máxima de 22-34 W.

7.8. Dimensionamiento del sistema de regulación y control

El sistema de regulación y control está formado por varios dispositivos que se van a encargar de asegurar el correcto funcionamiento de la instalación.

El principio de regulación se basa en comparar dos medidas de temperatura, con la ayuda de dos sondas situadas una a la salida de los captadores y otra en la parte baja del depósito. Estas medidas se comparan en un termostato y cuando su diferencia es igual o superior a un valor prefijado por el instalador, el termostato da la orden de puesta en marcha a la bomba de circulación. La parada de la bomba se produce cuando la diferencia de temperatura medida se sitúa con un valor igual o menor que el prefijado. En la *Figura 20* que se adjunta más adelante, se puede observar que aparece el elemento “*Diferencial*” que es el que toma las medidas de las temperaturas ahora mencionadas

En cuanto al funcionamiento de la bomba, ésta se activará en cuanto se alcance la diferencia de temperatura de activación entre en campo de colectores (T_1) y el acumulador (T_2). Esta diferencia se suele encontrar entre los 7°C y 8°C. Sin embargo, cuando se alcance la diferencia de temperatura de desactivación o un límite de seguridad de unos 2-3°C, la bomba del circuito secundario se volverá a desactivar.

Además de este sistema de regulación, es recomendable establecer un sistema de control que tenga en cuenta los siguientes aspectos:

- Protección de la instalación a altas temperaturas que pueden provocar fallos o roturas en el captador mediante un dispositivo de control de temperaturas máximas en el acumulador. Cuando se detecte un valor de 60° la bomba debe dejar de funcionar.
- Protección contra las heladas mediante el uso de un sensor que al detectar en la entrada del captador una temperatura ligeramente superior a la de congelación del fluido de trabajo, active la bomba durante unos minutos.
- Protección del captador y de la refrigeración del interacumulador cuando la sonda de los captadores alcance un temperatura máxima de manera que se active la bomba hasta que la temperatura de los captadores se reduzca en 10°.

7.9. Sistema auxiliar

Este estudio se está realizando sobre una vivienda ya construida y dotada de un sistema de aporte de energía convencional que se ha dimensionado de manera que sea capaz de aportar todo el calor necesario por la demanda de ACS y de calefacción.

Llegados a este punto solo hace falta mencionar que el acoplamiento entre el sistema auxiliar y el recientemente instalado deberá de realizarse en paralelo ya que es lo más recomendado en los casos en los que se trate de una vivienda existente. Este tipo de acoplamiento se caracteriza porque el suministro de agua caliente se realiza opcionalmente desde la instalación solar o desde el sistema de apoyo. Se requiere que el acumulador solar disponga de una temperatura de preparación minia establecida de forma que cuando la temperatura no alcance el mínimo de consigna se conmute al sistema auxiliar. Por este motivo, es necesario que exista una regulación, manual o automática, que permita alternar la conexión de ambos sistemas.

Por último, es importante destacar que el acoplamiento más recomendado entre los dos sistemas es el acoplamiento en serie ya que de esta manera se optimizan las prestaciones de la instalación. Este acoplamiento sin embargo, supone una mayor inversión en el caso de una vivienda ya existente porque supone más modificaciones en la instalación.

7.10. Otros elementos y conceptos

7.10.1. Vaso de expansión

Un vaso de expansión es un elemento de apoyo del sistema que permite la expansión del fluido debido a su calentamiento y protege el circuito absorbiendo el aumento de volumen.

Las tuberías del sistema están conectadas entre sí formando un circuito presurizado sometido a una presión variable en función de la temperatura a la que se encuentra el fluido de su interior. Cuando se pone en funcionamiento el sistema, se produce un aumento de la temperatura que supone un aumento de la presión. Este comportamiento de la presión está permitido siempre que se produzca dentro de unos niveles de seguridad. Siempre que no se supere los límites establecidos en la válvula de seguridad, el sistema podrá continuar funcionando.

En definitiva, las válvulas de expansión sirven como soporte para compensar el aumento de presión y evitar la activación de las válvulas de seguridad.

Concretando un poco más en el funcionamiento del vaso de expansión, éste consta de una cámara para almacenar fluido y otra cámara conjunta llena de aire ambas separadas por una membrana. Cuando se produce un aumento de volumen en el fluido, la cámara de aire disminuye, permitiendo almacenar más cantidad de líquido en el vaso de expansión. Cuando el volumen de fluido disminuye de nuevo, la cámara de aire recupera su volumen original.



Figura 19. Esquema de las partes de un vaso de expansión. Fuente: Instalaciones Gerardo Robles

En este proyecto se instalará un vaso de expansión entre el interacumulador y la bomba de retorno del fluido caloportador.

Los parámetros que definen a este dispositivo son el volumen nominal, que es el volumen total del vaso de expansión, y el volumen útil, que es el volumen máximo de fluido que puede ser alojado en el vaso de expansión.

El vaso de expansión ha de ser dimensionado en base a la cantidad de fluido albergada en el circuito, su capacidad de expansión y distintos factores de presión:

$$V_n = \frac{V_u}{F_p}$$

Siendo:

V_n = Volumen total del vaso de expansión [L]

V_u = Volumen útil, volumen máximo de fluido que puede ser alojado en el vaso de expansión [L]

F_p = Factor de presión (adimensional)

$$V_u = V_t \cdot F_e$$

Siendo:

V_t = Contenido de fluido de la instalación [L]

F_e = Factor de expansión, también llamado coeficiente de dilatación (adimensional). Se suele considerar un valor entre 0,1 y 0,3. Por motivos de seguridad se escogerá 0,3.

7.10.2. Válvulas

Las válvulas son mecanismos que se encargan de impedir o controlar un flujo a través de una tubería. En las instalaciones solares térmicas éstas se usan para distintas funciones tales como aislamiento, llenado, vaciado, equilibrado, purga o seguridad. A continuación se nombran las principales válvulas de la instalación:

- Una válvula de seguridad junto con el vaso de expansión en la bomba de recirculación del fluido caloportador.
- Una válvula antiretorno en el suministro de agua fría de la red al depósito interacumulador.
- Válvulas o llaves de corte en todos los tramos de conexiones.

7.10.3. Aislamiento térmico

Se trata de un aislamiento térmico de polietileno expandido con celda cerrada o de polieuretano, usado para recubrir y proteger las tuberías y los dispositivos acumuladores y así reducir las pérdidas térmicas. Es un material muy utilizado para este tipo de funciones ya que es de baja conductividad térmica por lo que es capaz de trabajar en un amplio rango de temperaturas. Tiene una buena resistencia a la deformación y a los disolventes y no solo es un aislante frío-calor sino que también cumple las otras funciones de antivibración, anticorrosión, anticondensación y aislante del ruido.

En función de la temperatura de trabajo del fluido de la instalación y el diámetro de la tubería utilizada se realizará la elección del grosor del aislamiento. Por norma general, según el *RITE*⁴, el aislamiento en tuberías y accesorios es el siguiente:

Fluido interior caliente				
Diámetro exterior [mm]	Temperatura del fluido [°C]			
	40 a 65	66 a 100	101 a 150	151 a 200
D ≤ 35	20	20	30	40
35 < D ≤ 60	20	30	40	40
60 < D ≤ 90	30	30	40	50
90 < D ≤ 140	30	40	50	50
140 < D	30	40	50	60

Tabla 13. Grosor del aislamiento en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y la temperatura máxima de la red. Fuente: RITE

Fluido interior frío				
Diámetro exterior [mm]	Temperatura del fluido [°C]			
	-20 a -10	-9,9 a 0	0,1 a 10	> 10
D ≤ 35	40	30	20	20
35 < D ≤ 60	50	40	30	20
60 < D ≤ 90	50	40	30	30
90 < D ≤ 140	60	50	40	30
140 < D	60	50	40	30

Tabla 14. Grosor del aislamiento en función del diámetro exterior de la tubería sin aislar y la temperatura mínima de la red. Fuente: RITE

⁴ Instrucción Técnica Complementaria, ITE 03 Cálculo, Reglamento Instalaciones Térmicas en Edificios. Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2013)

7.10.4. Legionella

En el interacumulador de la instalación o en cualquier depósito de ACS, el hecho de que pueda encontrarse agua estancada implica una serie de riesgos. Se pueden llegar a producir depósitos de lodos o materias orgánicas que pueden acabar formando una biocapa que bajo las condiciones óptimas, es decir, a temperaturas entre 35 - 37°C, produzcan Legionella. Además, si no se controla se pueden alcanzar concentraciones infecciosas para el ser humano.

Para evitar la legionelosis en los acumuladores destinados a usos colectivos, se debe de alcanzar los 60°C y en ocasiones los 70°C con el fin de asegurar una desinfección eficaz. Para ello, se establecerá en el Pliego de Condiciones Técnicas el mantenimiento de los acumuladores al igual que de toda la instalación para prevenir posibles problemas que puedan afectar a los humanos que estén en contacto con el agua.

7.11. Resumen de la instalación

A continuación se va a realizar un pequeño resumen sobre cómo va a ser la instalación final para aclarar los conceptos que se han ido describiendo en los apartados anteriores.

En la *Figura 20* se puede observar cuál será el diseño general de la instalación. Como ya se ha comentado en el apartado 3.2 sobre el alcance del proyecto, los detalles que se tienen en cuenta son los relacionados con el sistema de energía solar térmica pero no los relacionados con el sistema auxiliar o con la distribución a los puntos de consumo.

De las conexiones cabe destacar los siguientes aspectos:

- Entre la bomba y el interacumulador se deben de instalar el vaso de expansión y la válvula de seguridad.
- Las diferentes tuberías estarán provistas de llaves de corte para ayudar en caso de necesidad de llenado o vaciado de la instalación.
- En la entrada de agua fría al depósito interacumulador se colocara una válvula antirretorno.
- El colector solar se encontrará situado en el tejado de la vivienda de manera que no se vea afectado por ningún tipo de sombra, como ya se ha explicado en el apartado correspondiente.

- El interacumulador y su unión a la caldera del sistema de apoyo se encontrara en la sala de máquinas de la planta baja, a continuación de la cocina.
- Las tuberías que conectan los colectores con el interacumulador descenderán desde el tejado hasta la sala de máquinas en un total de unos 5 metros de altura aproximadamente.
- La bomba hidráulica que se encargan de retornar el fluido caloportador de vuelta a los colectores también se encontrará en la sala de máquinas de la planta baja.

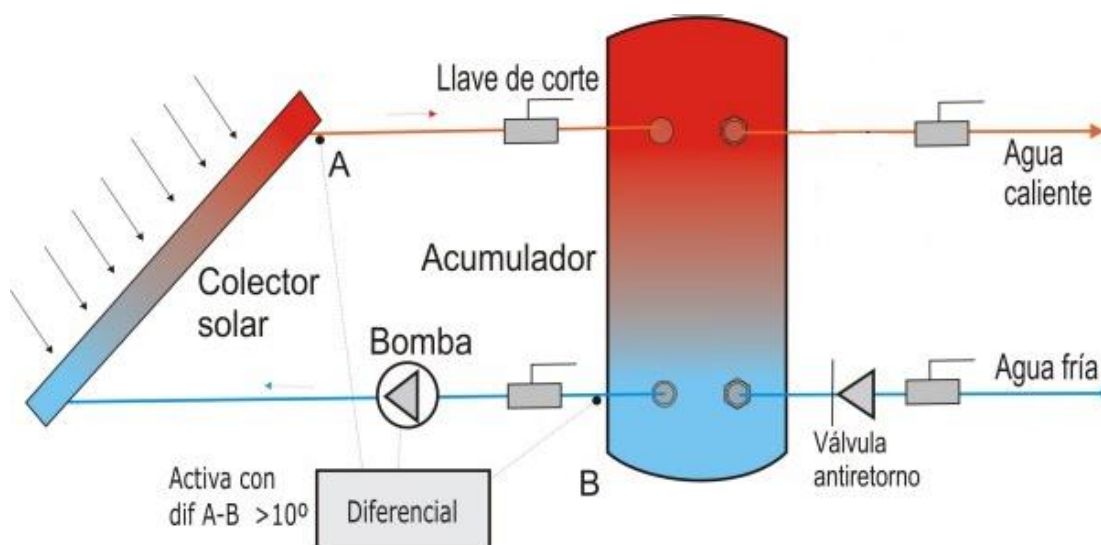


Figura 20. Representación general de la instalación

8. Pliego de condiciones

En este proyecto, el pliego de condiciones es un documento oficial que tendría que ser aceptado por las diferentes partes involucradas en la instalación, es decir, tanto la persona contratante o propietaria como la persona ejecutora del servicio. En él se establecen las condiciones y las cláusulas sobre todo aquello que se va a llevar a cabo para asegurar el buen desarrollo de la instalación.

El pliego de condiciones debe contener toda la información necesaria para que el proyecto llegue a buen fin de acuerdo con los planos constructivos del mismo, indica las condiciones generales del trabajo, la descripción y características de los materiales a utilizar, los planos

constructivos y la localización de la obra o servicio. También señala los derechos, obligaciones y responsabilidades de las partes que los suscriben.

8.1. Sistema de captación

Captadores:

El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por el organismo competente en la materia según lo regulado en el RD 891/1980, de 14 de abril, sobre homologación de los captadores solares y en la Orden de 28 de julio 1980 por la que se aprueban las normas e instrucciones técnicas complementarias para la homologación de los captadores solares, o la certificación o condiciones que considere la reglamentación que lo sustituya.

Todas las características de este elemento, así como su mantenimiento, instalaciones y otros detalles están incluidas en la hoja de características de este o en su manual.

La orientación, inclinación del sistema de captación y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas respecto al óptimo sean inferiores a los límites que establece el CTE.

Estructura de soporte:

Si el sistema dispone de una estructura de soporte que es montada normalmente en el exterior, el fabricante deberá de especificar los valores máximos de s_k (carga de nieve) y v_m (velocidad media del viento) de acuerdo con *ENV 1991-2-3* y *ENV 1992-2-4*. Esto deberá verificarse durante el diseño calculando los esfuerzos de la estructura soporte de acuerdo con estas normas.

El sistema solo podrá ser instalado en localizaciones donde los valores de s_k y v_m determinados sean menores que los valores máximos especificados por el fabricante.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores, permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.

Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y la posición relativa adecuadas, de forma que no se produzcan flexiones en el captador superiores a las permitidas por el fabricante. Los topes de sujeción de los captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre estos últimos.

8.2. Fluido de trabajo

Independientemente de la composición del fluido de trabajo, el pH a 20 °C estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:

- a) La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- b) El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico.
- c) El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l.

Fuera de estos valores, el agua deberá ser tratada y el diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. En particular, se prestará especial atención a una eventual contaminación del agua potable por el fluido del circuito primario.

8.3. Sistema acumulador y sistema de intercambio

Acumuladores:

Estos dispositivos, al estar en contacto con el agua potable, deberán de cumplir los requisitos de la norma *UNE EN 12897*.

Preferentemente, los acumuladores serán de configuración vertical y se ubicaran en zonas interiores.

En caso de que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis, tal como dispone el *RD 865/2003*, de 4 de julio.

En caso de aplicaciones para ACS es necesario prever un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder

cumplir con las medidas de prevención de legionella. Se podrán proponer otros métodos de tratamiento anti-legionella.

Deberán de estar recubiertos en su totalidad con material aislante, siendo recomendable disponer de una protección mecánica en chapa pintada al horno, PRFV, o lámina de material plástico.

El interior del acumulador debe de ser de acero vitrificado, acero con tratamiento epoxídico, acero inoxidable, cobre o materiales no metálicos aceptados para este uso.

Conexiones:

Con objeto de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, la situación de las tomas para las diferentes conexiones serán las establecidas en los puntos siguientes:

- a) La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del mismo.
- b) La conexión de salida del fluido caloportador frío del interacumulador hacia los captadores se realizará por la parte inferior de éste.
- c) En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos en el consumo, como por ejemplo A.C.S., esto se refiere al agua fría de red. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.
- d) En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

Se recomienda que la/s entrada/s de agua de retorno de consumo esté equipada con una placa deflectora en la parte interior, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador o el empleo de otros métodos contrastados que minimicen la mezcla.

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

Las conexiones entre dispositivos de diferentes metales deberán de ir dotadas de unos manguitos anti-electrolíticos para evitar que se creen pares galvánicos provocando la oxidación de forma prematura por el efecto de la electrolisis.

Muchas de estas características se han ido teniendo en cuenta a la hora de realizar el dimensionado. Además, muchas de ellas deberán de ir incluidas en la ficha técnica de características que proporciona el fabricante.

En cuanto al intercambiado del depósito, la principal condición que debe de cumplir está relacionada con el dimensionado del dispositivo en función de la potencia que debe de alcanzar.

Como ya se ha expuesto en el apartado 7.8, la potencia mínima de diseño del intercambiador independiente, P , en vatios, en función del área de captadores A , en metros cuadrados, cumplirá la condición:

$$P \geq 500 \cdot A$$

$$P \geq 1,85 \text{ kW}$$

El intercambiador independiente será de placas de acero inoxidable o cobre y deberá soportar las temperaturas y presiones máximas de trabajo de la instalación.

En caso de aplicación para A.C.S. se puede utilizar el circuito de consumo con un intercambiador, teniendo en cuenta que con el sistema de energía auxiliar de producción instantánea en línea o en acumulador secundario hay que elevar la temperatura hasta 60°C y siempre en el punto más alejado de consumo hay que asegurar 50 °C.

8.4. Sistema hidráulico

El circuito hidráulico del sistema de consumo debe de cumplid los requisitos especificados en la norma UNE-EN 806-1.

En cualquier caso, los materiales del circuito deberán de cumplir lo especificado en la norma ISO/TR 10217.

Tuberías:

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá de ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y las pérdidas de carga en general.

El diseño y los materiales deberán de ser tales que no exista la posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que influyan drásticamente en el rendimiento del sistema. En puntos anteriores ya que han definido los respectivos diámetros de las tuberías tanto para el circuito primario como para el secundario además del material (cobre).

Bombas:

Siempre que sea posible, las bombas en líneas se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

La alimentación de las bombas será de 230 V / 50 Hz y deberán de alcanzar la potencia mínima necesaria para compensar las pérdidas de cargas lineales y singulares.

Vaso de expansión:

Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba. Estos dispositivos de seguridad irán tarados a una presión que garantice que en cualquier punto del circuito no se superara la presión máxima de trabajo de los componentes.

Cuando no se cumpla el punto anterior, la altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario.

Purga de aire:

En todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocaran sistema de purga constituidos por botellines de desaireación y purgador manual o automático. El volumen útil del botellín será superior a 100 cm³. Este volumen podrá disminuirse si se instala a la salida del circuito solar y antes del intercambiador un desaireador con purgador automático.

Otros aspectos a tener en cuenta:

- El circuito incorporará un sistema de llenado manual que permitirá llenar y mantener presurizado el circuito.
- Se instalarán válvulas que permitan el vaciado total o parcial de la instalación.
- Se montarán válvulas de corte para facilitar la sustitución o reparación de componentes sin la necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación. Estas válvulas independizarán a los captadores, a los intercambiadores de calor y a las bombas. Se instalará una a la entrada de agua fría y otra a la salida de agua caliente del depósito de acumulación.

8.5. Sistema de regulación y control

Este sistema también deberá de cumplir una serie de requisitos:

- Alimentación 230 V / 50 Hz
- Incorporará la conexión de dos sondas térmicas para la medición de temperaturas.
- Rango mínimo de servicio será de 0°C a 60°C
- Los cables que se encargan de las conexiones que unen los equipos de medida de temperatura entre el colector y el depósito interacumulador serán de material plástico, no propagador de la llama.

9. Mantenimiento de la instalación

Con el fin de englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen en el CTE dos escalones complementarios de actuación:

- El plan de vigilancia
- El plan de mantenimiento preventivo

El propietario de la instalación será el encargado de asegurar la conservación del buen estado de todos los dispositivos en cuanto a condiciones de seguridad, salubridad y ornato público.

9.1. Plan de vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación. Tendrá el alcance descrito en la Tabla x:

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas
CIRCUITO PRIMARIO	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
CIRCUITO SECUNDARIO	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín
	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

IV: inspección visual

Tabla 15. Plan de vigilancia para cada uno de los elementos de la instalación establecido por el CTE en el DB HE sección 4

9.2. Plan de mantenimiento

Este plan consiste en realizar operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento implicara, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie de captación solar inferior a 20 m².

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

A continuación se desarrollan de forma detallada las operaciones de mantenimiento que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original
Cristales	6	IV diferencias entre <i>captadores</i>
Juntas	6	IV condensaciones y suciedad
Absorbedor	6	IV agrietamientos, deformaciones
Carcasa	6	IV corrosión, deformaciones
Conexiones	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Estructura	6	IV aparición de fugas
Captadores*	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores*	12	Tapado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Destapado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Vaciado parcial del campo de <i>captadores</i>
Captadores*	12	Llenado parcial del campo de <i>captadores</i>

Tabla 16. Plan de mantenimiento del sistema de captación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación de desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

IV: inspección visual

Tabla 17. Plan de mantenimiento del sistema de acumulación

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

CF: control de funcionamiento

Tabla 18. Plan de mantenimiento del sistema de intercambio

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

IV: inspección visual

CF: control de funcionamiento

Tabla 19. Plan de mantenimiento para el circuito hidráulico

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Tabla 20. Plan de mantenimiento del sistema eléctrico y de control

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

CF: control de funcionamiento

Tabla 21. Plan de mantenimiento del sistema de energía auxiliar

10. Viabilidad económica

La rentabilidad económica es un factor que promueve la toma de decisiones a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de proyecto.

En proyectos similares a este, el uso de energías renovables puede venir motivado por el aumento de precio de las fuentes tradicionales de energía al encontrarse en manos de pocos productores y en zonas conflictivas con un mayor coste de extracción cada vez. A todo esto, a medida que mejoran las eficiencias de este tipo de instalaciones aumenta la rentabilidad económica.

La principal contradicción ante la que se encuentran los consumidores a la hora de llevar a cabo este tipo de instalaciones es el alto valor de la inversión inicial, muy superior a la necesaria para instalar un sistema de aprovisionamiento tradicional.

Por esta razón, es de vital importancia demostrar que la implantación de colectores solares para la generación de ACS es una opción que conlleva un periodo de amortización que finalmente supone un ahorro en el consumo de combustibles convencionales.

Los parámetros de rentabilidad que se van a estudiar son el VAN (Valor Actualizado Neto) de la instalación a lo largo de su vida útil estimada (de unos 20 años aproximadamente), el TIR (Tasa Interna de Retorno) y el *Pay-back* o periodo de retorno. A partir de estos valores se podrá ver si los beneficios previsibles compensan la inversión inicial.

Cabe añadir que hay factores como por ejemplo los intereses del dinero, la inflación o el coste de los combustibles no pueden concretarse a la perfección pero a los que se les puede dar un valor aproximado de acuerdo con las previsiones económicas.

10.1. Ayudas y subvenciones

Actualmente existen diferentes fuentes de financiación para proyectos que promueven el uso de energías renovables.

A nivel estatal:

Por una parte, a nivel estatal se pueden encontrar diferentes programas y fondos de financiación dirigidos por el *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*⁵ que depende del Ministerio de Economía, y por el *Instituto de Crédito Oficial (ICO)*. Las ayudas económicas que ofrecen sirven para invertir en proyectos de energía solar térmica llegando a financiar en algunas ocasiones hasta el 100% de los costes del proyecto.

Concretando un poco más, el programa de financiación para proyectos como el de este estudio es el programa *PAREER-CRECE* que proporciona ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes. Con el fin de incentivar y promover la realización de actuaciones de reforma que favorezcan el ahorro energético, la mejora de la eficiencia energética, el aprovechamiento de las energías renovables y la reducción de emisiones de dióxido de carbono, en los edificios existentes, con independencia de su uso y de la naturaleza jurídica de sus titulares, pone en marcha un programa específico de ayudas y financiación, dotado con 200 millones de euros.

También se pretende contribuir a alcanzar los objetivos establecidos en la Directiva 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética, y en el Plan de Acción 2014-2020, a la vez que crear oportunidades de crecimiento y empleo en distintos sectores económicos, en especial en el sector de la construcción, favoreciendo la regeneración urbana el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (*IDAE*).

La principal condición que se exige es que se debe de mejorar la calificación energética total del edificio en, al menos, una letra medida en la escala de emisiones de dióxido de carbono con respecto a la calificación energética inicial del edificio.

De esta ayuda podrá ser beneficiario el propietario del edificio, bien sea persona física, o bien tenga personalidad jurídica de naturaleza privada o pública y tendrá derecho a recibir una ayuda dineraria sin contraprestación complementaria con un préstamo reembolsable.

El importe de la ayuda directa a otorgar será la suma de la Ayuda Base y de la Ayuda Adicional a partir de la *Tabla 20*:

⁵ Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Recuperado el 16 de junio del 2015 de <http://www.idae.es/index.php/id.858/relmenu.409/mod.pags/mem.detalle>

<u>Tipologías de actuación</u>		<u>MÁXIMO ENTREGA DINERARIA SIN CONTRAPRESTACIÓN</u> (% s/ coste elegible)		<u>MÁXIMO PRÉSTAMO REEMBOLSABLE</u> (% s/ coste elegible)
		<u>Ayuda BASE</u>	<u>Ayuda Adicional por criterio social, eficiencia energética o actuación integrada</u>	
EFICIENCIA ENERGÉTICA	Tipo 1. Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica	30%	En función del uso del edificio y de acuerdo a lo establecido en Anexo I, para el tipo de actuación. Hasta los límites de la normativa de ayudas de Estado o tasa de cofinanciación FEDER en la Comunidad Autónoma donde radique el proyecto, según el Anexo V.	60%
	Tipo 2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación	20%		70%
ENERGÍAS RENOVABLES	Tipo 3. Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas	25%		65%
	Tipo 4. Sustitución de energía convencional por energía geotérmica en las instalaciones térmicas	30%		60%

Tabla 22. Porcentajes de ayuda en función de la tipología de actuación del pro grama PAREER-CRECE. Fuente: IDEA

Los préstamos reembolsables tendrán las condiciones siguientes:

- Tipo de interés: Euribor +0,0%
- Plazo máximo de amortización de los préstamos: 12 años (incluido un período de carencia opcional de 1 año)
- Garantías: Aval bancario, contrato de seguro de caución, o depósito en efectivo a favor del IDAE en la Caja General del Depósitos del Ministerio de Economía y Competitividad, por importe del 20% de la cuantía del préstamo.

- Las ayudas otorgadas en el marco del presente Programa, podrán ser objeto de cofinanciación con fondos FEDER del periodo 2014-2020, dentro del Programa Operativo de Crecimiento Sostenible.

El plazo máximo de presentación de esta solicitud es el 31 de diciembre del 2016. Las solicitudes para la participación se efectuarán conforme al formulario que está disponible en la página web del *IDAE*.

A nivel local:

El ayuntamiento al que pertenece la vivienda, el *Ajuntament de Sant Josep de sa Talaia*, convoca cada año subvenciones para fomentar el uso de energías limpias en viviendas en el municipio.

Esta convocatoria está dotada con una cantidad aproximada de 9.000 € que va variando en función de la disponibilidad presupuestaria del año vigente. Los beneficiarios a los que va dirigida son las personas físicas o jurídicas que lleven a cabo actuaciones subvencionables de acuerdo con la convocatoria. Para poder beneficiarse de las ayudas se establece como requisito que los edificios y construcciones donde se tengan que instalar los equipos del proyecto no dispongan de expedientes de infracción urbanística en curso por parte del Ayuntamiento.

De entre las diferentes actividades a las que va dirigida esta ayuda se encuentra la del objeto de estudio de este proyecto. Las condiciones que exige es que la instalación cuente como mínimo con los siguientes elementos: colector solar, depósito acumulador y elementos necesarios para que sean operativos.

Por último, la cuantía que le corresponde a los caso de energía solar térmica es de 300 € por metro cuadrado de superficie de colectores instalado.

10.2. Estudio económico

En este apartado se va a acabar estableciendo cual será la inversión inicial de la instalación. No se va a tratar de efectuar un análisis económico exhaustivo que precise de una exposición muy en detalle de cada uno de los aspectos de rentabilidad ya que únicamente tendría sentido en proyectos grandes con inversiones elevadas. En este caso se va a procurar realizar una sencilla pero rigurosa propuesta económica estableciendo los principales gastos que supondría llevar a cabo la instalación.

Cabe destacar que el estudio económico se va a realizar teniendo en cuenta que no se dispone de ningún tipo de ayuda o financiación de las explicadas en el punto anterior.

10.2.1. Composición de los costes de la inversión inicial

Costes directos:

Se tienen en cuenta los precios unitarios de los materiales que queden integrados en el proceso o sean necesarios para su ejecución. También se consideran los equipos y los sistemas técnicos de seguridad.

A partir de los cálculos correspondientes detallados en el apartado 4 del Anexo, se obtiene un total de 2.146,45 €.

Costes indirectos:

Dentro de este punto se consideran los gastos relacionados con la instalación, el transporte, la redacción del proyecto, etc. Para realizar estos cálculos se establece un porcentaje de referencia sobre los costes directos.

El total obtenido en este apartado es de 321,97 €.

Por lo tanto, el coste total de la instalación es de 2468,42 €.

10.2.2. Ahorro energético anual

El ahorro energético anual corresponde a la cantidad de dinero que el usuario dejara de pagar a la compañía suministradora de gas por el hecho de calentar agua mediante la energía obtenida de la instalación solar durante un año.

En este cálculo se va a mirar por una parte la contribución de la demanda energética que aporta la instalación y por otra parte el ahorro de combustible que ello conlleva junto con el valor económico de dicho combustible.

Energía solar aprovechada [kW·h]	2.127,93
Rendimiento de la caldera actual [%]	75,00
Energía caldera [kW·h]	2.837,24
Precio gasóleo [€ / L]	0,93
Consumo gasóleo [kg / kW·h]	0,09
Densidad gasóleo [kg / m ³]	880,00
Ahorro anual [€]	259,66

Tabla 23. Ahorro anual gracias a la instalación solar

10.2.3. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN es un indicador del valor actual de los flujos de tesorería del proyecto de inversión menos la inversión inicial.

Este cálculo se basa en la diferencia entre ahorros proporcionados por la instalación y gastos derivados de la misma a lo largo de su vida útil. Para referencias esta cantidad al año en el que se realiza la instalación, es necesario tener en cuenta el interés bancario del que se hubiera beneficiado la inversión inicial. De este modo, una inversión con un VAN positivo significa que aporta mayor beneficio que depositar la misma cantidad en un banco.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t} = -Q_0 + Q_1 \cdot (1+k)^{-1} + Q_2 \cdot (1+k)^{-2} + \dots + Q_n \cdot (1+k)^{-n}$$

Donde:

Q_0 = Inversión inicial [€]

Q_n = Flujo de caja en el periodo n. Este valor se va actualizando como consecuencia de la inflación del gasóleo y del coste de mantenimiento de la instalación.

n = Número de años (1, 2,...20)

k = Tasa de descuento

Antes de realizar el cálculo hay que establecer unas estimaciones sobre la inflación del gasóleo, la tasa de descuento y el coste del mantenimiento anual. En la Tabla se muestran las estimaciones realizadas:

Inflación gasóleo	3,5%
Tasa de descuento	2%
Coste mantenimiento anual	50,00 €

Tabla 24. Estimaciones necesarias para el cálculo del VAN

De esta manera, el VAN a 20 años es de 5.984,58 €. En el apartado 4.3 del *Anexo* se pueden encontrar más detalles sobre el valor de VAN acumulado.

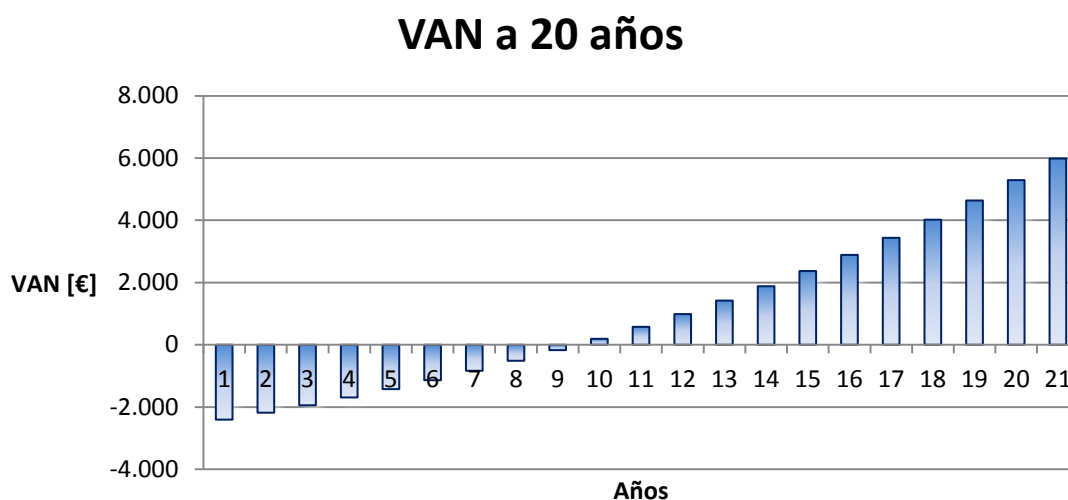


Gráfico 7. Evolución del VAN a 20 años

10.2.4. Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

El TIR es la tasa de actualización que hace que el Valor Actual Neto de un proyecto de inversión sea igual a cero. Para poder calcularlo se deja como incógnita el valor del interés “k” y se iguala el VAN a cero.

$$TIR = k$$

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t} = -Q_0 + Q_1 \cdot (1+k)^{-1} + Q_2 \cdot (1+k)^{-2} + \dots + Q_n \cdot (1+k)^{-n} = 0$$

El criterio del TIR establece que una inversión es positiva o aconsejable cuando la k es mayor o igual a un tipo de interés mínimo pero es desaconsejable para el inversor si se encuentra por debajo.

La TIR obtenida en esta inversión es de un 11,9%, muy por encima del 2%.

10.2.5. Plazo de recuperación (*Pay-Back*)

El *Pay Back* permite calcular cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja.

El *Pay Back* de este proyecto es de unos 9 años aproximadamente.

10.2.6. Resumen

VAN	5.984 €
TIR	11,9%
Pay-Back	9 años

Tabla 25. Resumen de los valores obtenido en el estudio económico

Después de haber obtenido los resultados del VAN, del TIR y del *Pay Back*, se puede decir que la inversión resulta rentable.

El valor de la TIR indica la tasa de interés más alta que un inversionista podría llegar a pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés), se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fueran produciendo.

A parte de la TIR, el VAN muestra los beneficios que se pueden llegar a obtener en un periodo de 20 años y el *Pay Back* indica que la inversión inicial se recupera al cabo de unos 9 años.

11. Estudio del Impacto Ambiental

11.1. Introducción

Cuando se realiza el estudio para la instalación de un sistema que utilice energías renovables en vez de convencionales, no hay que pensar solo en la fuente de ahorro económico que va a suponer sino en el valor añadido que va a aportar a la vivienda. Es decir, resulta mucho más

valioso pensar que con este tipo de instalaciones se va a conseguir una fuente de ahorro en emisiones de gases nocivos y contaminación a la atmósfera.

En este apartado se pretende abarcar dos conceptos, por una parte se quiere dar una visión sobre aquellos aspectos a los que se está ayudando con la instalación y, por otra parte, se va a intentar cuantificar los beneficios que se le van a aportar al medio ambiente.

11.2. Responsabilidad ambiental

La principal responsabilidad a nivel oficial que tiene la ciudadanía con respecto al medio ambiente es el cumplimiento del Protocolo de Kioto por parte de sus respectivos países.

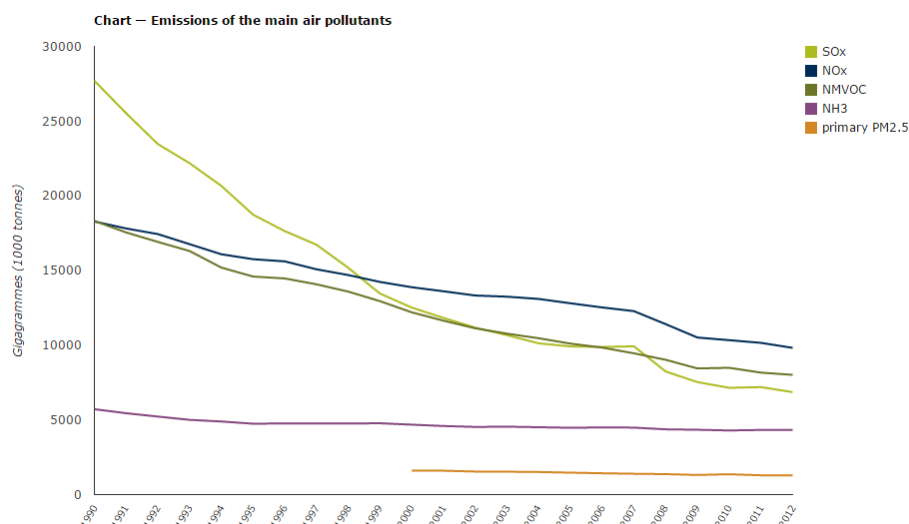
El Protocolo de Kioto, sucesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático.

Este protocolo fue inicialmente adoptado en el año 1997 en Kioto pero no entró en vigor hasta el año 2005. Fue en el año 2009 cuando 187 estados ratificaron el protocolo dejando fuera de este grupo a los EEUU, mayor emisor de gases de efecto invernadero del mundo.

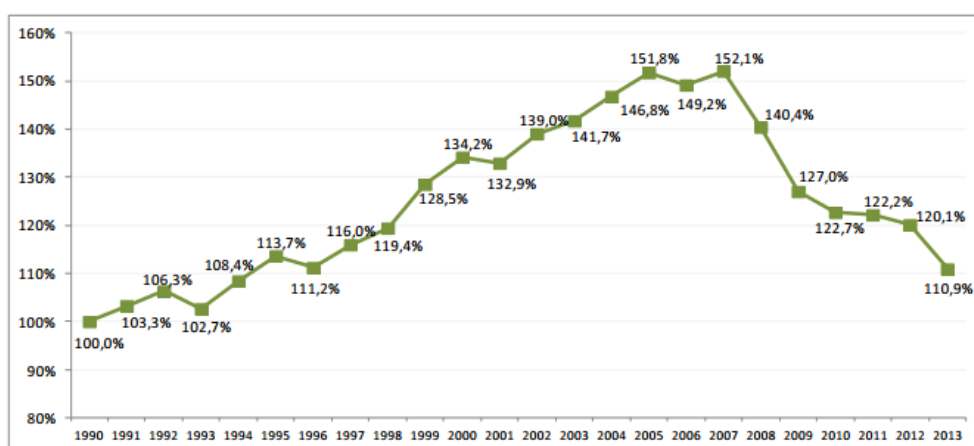
Este acuerdo contiene los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir las emisiones de algunos gases de efecto invernadero, responsables del calentamiento global. Entre estos gases se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), el gas metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6).

El objetivo principal fue el de reducir las emisiones totales en un porcentaje del 5% dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones de 1990.

Aunque en ese periodo Europa consiguiera reducir la emisión de gases totales en un 19,2%, España no ha conseguido alcanzar sus objetivos ya que, aunque se le pidiera no que disminuyera sino que no superara un 15% de aumento, lo que hizo fue sobrepasar hasta el 23,7%. Todo esto conlleva a que los países, como el caso de España, deben de continuar trabajando en proyectos que impulsen el uso de energías renovables para conseguir una reducción definitiva en la emisión de gases contaminantes y perjudiciales para todos.



Gráfica 2. Evolución de las emisiones europeas de los principales gases contaminantes. Fuente: European Environment Agency



Gráfica 3. Evolución de la emisión de gases contaminantes en España. Fuente: Inventario de gases efecto invernadero de España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

En el año 2013, en la decimoctava Conferencia de las Parte sobre el cambio climático, se ratificó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kioto desde el 1 de enero de ese mismo año hasta el 31 de diciembre de 2020.

Cabe destacar que España dispone de un documento que se conoce como “Estrategia Española de cambio climático y energía limpia. Horizonte 2007 - 2012 - 2020”⁶ con el fin de llevar a cabo

⁶ Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2007). Estrategia Española de cambio climático y energía limpia. Horizonte 2007 - 2012 - 2020. Rescatado el 17 de junio de 2015 de

una serie de acciones que repercutan positivamente en la reducción de gases contaminantes a la atmósfera y con ello cumplir con los objetivos del Protocolo de Kioto.

11.3. Cuantificación del Impacto Ambiental

Para cuantificar el impacto ambiental se van a calcular los kilogramos de gases que se puede evitar emitir a la atmósfera si se lleva a cabo la instalación de energía solar térmica.

Partiendo de los datos que se han conseguido con el método *f-Chart* sobre la energía que puede llegar a abastecer la instalación de placas solares, se pueden calcular los gases que se hubieran emitido a la atmósfera en caso de que esta demanda la hubiera producido el sistema de energía auxiliar.

El principal gas que se va a tener en cuenta en este impacto es el dióxido de carbono (CO₂). En la combustión de gasóleo sin embargo no sólo se emite CO₂ sino que también se emiten otros gases como por ejemplo CO y SO₂. Estos últimos no se van a considerar en los cálculos del impacto ambiental ya que es difícil establecer el factor de conversión que los relacione con la demanda energética y además su proporción en comparación con el dióxido de carbono es muy pequeña.

Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, la emisión de CO₂ en la combustión de gasóleo es de 73,7 kg CO₂/GJ⁷.

Emisiones de CO₂ sin la instalación de energía solar térmica:

$$Emisiones\ CO_2 = Q_a \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 73,3 = 703,34\text{ kg CO}_2$$

Siendo:

$Emisiones\ CO_2$ = Emisiones totales de CO₂ (kg CO₂)

Q_a = Demanda energética total al año (kW·h)

http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/documentacion/est_cc_energ_limp_tcm7-12479.pdf

⁷ Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2014). Inventario Nacional de Emisiones de GEI, Anexo 8. Recuperado el 17 de junio de http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/Anexo_8_Inventario_GEI_Espana_1990_2012_Ed_Abril_2014_tcm7-350473.pdf

$3,6 \cdot 10^{-3}$ = Factor de conversión de unidades (GJ/kW·h)

73,3 = Factor de equivalencia de los kilogramos de CO₂ (kg CO₂/GJ)

Emisiones de CO₂ con la instalación de energía solar térmica:

$$Emisiones\ CO_2 = (Q_a - E_{inst}) \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 73,3 = 142,59\ kg\ CO_2$$

Siendo:

Emisiones CO₂ = Emisiones totales de CO₂ (kg CO₂)

Q_a = Demanda energética total al año (kW·h)

E_{inst} = Energía producida por la instalación (kW·h)

$3,6 \cdot 10^{-3}$ = Factor de conversión de unidades (GJ/kW·h)

73,3 = Factor de equivalencia de los kilogramos de CO₂ (kg CO₂/GJ)

Como se puede observar, existe una disminución de emisión de dióxido de carbono del 80% aproximadamente.

Mes	E _{inst}	Factor emisión CO ₂	Total CO ₂ ahorrado
	[kW·h]	[kg CO ₂ /GJ]	[kg CO ₂]
Enero	148,17	73,70	39,31
Febrero	156,91	73,70	41,63
Marzo	202,56	73,70	53,74
Abril	194,83	73,70	51,69
Mayo	202,39	73,70	53,70
Junio	194,90	73,70	51,71
Julio	200,69	73,70	53,25
Agosto	197,87	73,70	52,50
Septiembre	181,21	73,70	48,08
Octubre	173,52	73,70	46,04
Noviembre	141,34	73,70	37,50
Diciembre	133,52	73,70	35,43
Total anual	2.127,93	884,40	564,58
Media mensual	177,33	73,70	47,05

Tabla 26. Emisiones de dióxido de carbono ahorradas con la instalación de placas solares

12. Conclusiones

Una vez finalizado el estudio llevado a cabo en este proyecto, son varias las conclusiones a las que se llega.

La primera de todas hace referencia a la conciencia medio ambiental que tiene la sociedad hoy en día. Es un error pensar que la solución está en las manos de los demás pero no en las de uno mismo.

Si hay algo seguro en relación con la temática del proyecto es que el modelo energético actual no es sostenible debido a la fuerte dependencia de los países desarrollados al petróleo, una fuente que en algún momento caerá por su propio peso. A parte de lo perjudicial que resulta su uso para el medio ambiente, existen teorías muy aceptadas que defienden que en un breve periodo de tiempo, la producción de petróleo llegará a un máximo para, posteriormente, caer en picado. Es por este motivo que resulta necesario para todos impulsar el uso de energías alternativas.

Otra de las conclusiones a las que se llega es que con una pequeña instalación, junto con su inversión correspondiente, se puede llegar a obtener grandes resultados. Es una realidad que este estudio, al realizarse para una sola vivienda, es a pequeña escala y puede que los resultados no sean asombrosos a primeras vista pero, también es una realidad que teóricamente se ha conseguido reducir la emisión de gases nocivos para la atmósfera en un 80%.

Si partiendo de esta información se pudiera realizar un estudio sobre cómo afectaría este tipo de instalaciones a un nivel más global, es decir, autonómico o estatal, sería bastante probable que, con resultados tan positivos, se pusieran medidas en el asunto y se incentivara más el uso de energías renovables.

Es verdad que existen comunidades, como por ejemplo Cataluña, que empiezan a establecer obligaciones en las viviendas de nueva construcción para promover la instalación de placas solares para la generación de ACS. Aun así, si se comparan las ayudas y las subvenciones que se proporcionaban hace 10 años a las de hoy en día, se puede confirmar que han disminuido considerablemente. Este hecho se consigue compensar un poco con la bajada de precios de los elementos que conforman el sistema instalado al ser cada vez más comunes en el mercado.

Finalmente, se extrae como última conclusión que aunque este proyecto se limite al simple estudio de la instalación de placas solares, la puesta en marcha de éste resultará satisfactoria en todos los aspectos. Como se ha podido ver, ni la complejidad del sistema ni los medios para llevarla a cabo son elevados y lo más importante, los beneficios sobre el medio ambiente, dentro del impacto que puede ocasionar una vivienda, son verdaderamente productivos. Llegados a este punto sólo habría que continuar mejorando la eficiencia energética de la vivienda en otros aspectos como por ejemplo ampliando la superficie captadora para abastecer el ACS necesaria para la calefacción o mediante la instalación de células fotovoltaicas para el consumo de electricidad.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos mis profesores por las enseñanzas adquiridas a lo largo de los últimos años y a la Escuela por ayudarme a crecer como persona. También a mi tutor por el tiempo dedicado y sus recomendaciones.

Por último, agradecer a mis amigos y a mi familia por su apoyo incondicional y por saber siempre elegir las palabras adecuadas en los momentos más difíciles.

Gracias a todos

Bibliografía

Normativa

- Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HE - Ahorro de energía. *Ministerio de Fomento, 2013.*
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Instrucción Técnica Complementaria. ITE 10 Instalaciones Específicas. Real Decreto 1027/2007, del 9 de septiembre de 2013. *Ministerio de Industria, Energía y Turismo.*
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Instrucción Técnica Complementaria. ITE 03 Cálculo. Real Decreto 1027/2007, del 9 de septiembre de 2013. *Ministerio de Industria, Energía y Turismo.*
- Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HR - Protección frente al ruido. *Ministerio de Fomento, 2009.*
- Código Técnico de la Edificación (CTE). Documento Básico HS - Salubridad. *Ministerio de Fomento, 2009.*
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2009.*
- Norma UNE EN 1057. Cobre y aleaciones de cobre, Tubos redondos de cobre, sin soldadura, para agua y gas en aplicaciones sanitarias y de calefacción, 2010.

Libros

- Autor: Luis Monge Malo. “*Instalaciones de energía solar térmica para la obtención de ACS en viviendas*”. Editorial Marcombo Ediciones Técnicas - Barcelona, enero 2010.

Páginas web de consulta

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Disponible en: <http://www.idae.es/>

- Código Técnico de la Edificación. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/>
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/>
- Gas Natural distribución. Disponible en: <http://www.gasnaturaldistribucion.com/es/1297168155616/quiero+gas+natural.html>
- *Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport (IET)*. Disponible en: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- Agencia Espacial de Meteorología. Disponible en: <http://www.aemet.es>
- Distribuidor del captador solar e interacumulador FAGOR. Disponible en: <http://www.fagor.com/>
- Gobierno de las Islas Baleares. Disponible en: <http://www.caib.es/govern/index.do?lang=ca>
- Ayuntamiento de Sant Josep de sa Talaia. Disponible en: <http://www.santjosep.org/>
- Leroy Merlin. Disponible en: <http://www.leroymerlin.es/>
- Cype Ingenieros. Disponible en : <http://www.cype.es/>
- Infografías Eroski. Disponible en: <http://www.consumer.es/infografias/>